

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE SALUD PÚBLICA Y NUTRICIÓN



**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y
FUNCIONALES DEL CONCENTRADO PROTEICO DE
PHASEOLUS ACUTIFOLIUS GRAY.**

POR

IBQ. CRISTINA LÓPEZ IBARRA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NUTRICIÓN**

NOVIEMBRE, 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE SALUD PÚBLICA Y NUTRICIÓN

SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y POSGRADO



**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y
FUNCIONALES DEL CONCENTRADO PROTEICO DE *PHASEOLUS*
ACUTIFOLIUS GRAY**

POR

IBQ. CRISTINA LÓPEZ IBARRA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NUTRICIÓN

DIRECTOR DE TESIS

DR. EN C. JESÚS ALBERTO VÁZQUEZ RODRÍGUEZ

MONTERREY, NUEVO LEÓN, MÉXICO

NOVIEMBRE DE 2018

Dra. en C. Blanca Edelia González Martínez
Subdirección de Investigación, Innovación y Posgrado
Facultad de Salud Pública y Nutrición
Universidad Autónoma de Nuevo León

P R E S E N T E

Por este conducto le comunicamos que hemos concluido la dirección y codirección de la tesis titulada: **“Evaluación de las características nutricionales y funcionales del concentrado proteico de *Phaseolus acutifolius* Gray**, presentada por la IBQ. Cristina López Ibarra con la finalidad de obtener el grado de Maestría en Ciencias en Nutrición.

Sin otro particular, le enviamos un cordial saludo.

Atentamente

“Alere Flamma Veritatis”

Monterrey, Nuevo León a 27 de noviembre de 2018

Dr. Jesús Alberto Vázquez Rodríguez

Director

Dra. Beatriz Adriana Rodríguez Romero

Co-Director

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE TESIS

El comité de Evaluación de Tesis APROBÓ la tesis titulada: “**Evaluación de las características nutricionales y funcionales del concentrado proteico de *Phaseolus acutifolius* Gray**”, presentada por la IBQ. Cristina López Ibarra con la finalidad de obtener el grado de Maestría en Ciencias en Nutrición.

Monterrey, Nuevo León a 27 de noviembre de 2018

Dr. en C. Jesús Alberto Vázquez Rodríguez

Presidente

Dra. en C. Vania Urías Orona

Secretario

Dr. en C. Juan Gabriel Báez González

Vocal

**Evaluación de las características nutricionales y funcionales
del concentrado proteico de *Phaseolus acutifolius* Gray**

Aprobación de tesis:

Comité de Tesis

Dr. en C. Jesús Alberto Vázquez Rodríguez
Presidente

Dra. en C. Vania Urías Orona
Secretario

Dr. en C. Juan Gabriel Báez González
Vocal

Dra. en C. Blanca Edelia González Martínez
Subdirectora de Investigación, Innovación y Posgrado

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a otra meta en la vida.

A mis padres y hermanos, por respaldar todas mis decisiones, ser comprensivos y amarme todos los días.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico durante el programa de posgrado.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y a las facultades cuyas instalaciones facilitaron el desarrollo de esta investigación: Facultad de Salud Pública y Nutrición, Facultad de Agronomía, Facultad de Ciencias Biológicas y al Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud.

Al Dr. Jesús Alberto Vázquez Rodríguez, por guiar el camino de este proyecto y permitirme ser una de sus estudiantes, gracias por su paciencia y disponibilidad en asuntos académicos y personales.

A los doctores: Beatriz Rodríguez, Juan Gabriel Báez, Minerva Bautista, Alhelí Hernández y Ricardo Gutiérrez, que apoyaron y aportaron su conocimiento para llevar a cabo la parte experimental de este trabajo.

A Berenice González, por su amistad y enseñarme que los “días lluviosos” pueden ser “días de risas”.

A mis compañeros y amigos de generación: Ana, Susana, Raquel, Paola, Sandra, Caro, Israel y Jacob, que fueron la parte más divertida de estos dos años.

A mis padres Manuel y Patricia, por ser los mejores y apoyar todo lo que hago desde hace veintiséis años.

A mis hermanos Perla y Víctor, que llenan mi vida de orgullo y siempre fortalecen y fomentan mi potencial con sus hermosas palabras y acciones.

A mi novio Pablo Romo de Vivar, que con su infinita paciencia, amor y buen humor hace mejores mis días, gracias por tomar mi mano desde hace ocho años y jamás soltarme.

Gracias a todos.

LUGARES DE TRABAJO

El trabajo experimental se desarrolló en las siguientes instalaciones de la Universidad Autónoma de Nuevo León:

Centro de Investigación en Nutrición y Salud Pública de la Facultad de Salud Pública y Nutrición.

- Laboratorio de Alimentos
- Laboratorio de Genética y Biología Molecular

Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud (CIDICS).

- Laboratorio de la Unidad de Nutrición

Facultad de Agronomía.

- Laboratorio de Química y Bioquímica

Departamento de Alimentos de la Facultad de Ciencias Biológicas.

- Laboratorio de Reología

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. ANTECEDENTES.....	4
2.1 Legumbres	4
2.1.1 Componentes principales y características de las legumbres	4
2.1.1.1 Hidratos de carbono	9
2.1.1.1.1 Almidón	10
2.1.1.1.2 Fibra dietética	11
2.1.1.2 Fracción lipídica	12
2.1.1.3 Proteínas	13
2.1.1.3.1 Perfil de proteínas por solubilidad y puntos isoelectricos	16
2.1.1.3.2 Importancia de la proteína de origen vegetal en la alimentación	17
2.1.1.3.3 Concentrados proteicos de legumbres: propiedades funcionales	18
2.2 Género <i>Phaseolus</i>	21
2.2.1 Antecedentes históricos	21
2.2.2 Características biológicas.....	22
2.2.3 Producción y rendimiento de cultivo	22
2.2.4 Consumo nacional e internacional	24
2.2.5 Componentes nutricionales	26
2.2.6 Especies del género <i>Phaseolus</i>	26
2.2.6.1 Frijol tepari (<i>Phaseolus acutifolius</i> Gray)	28
III. HIPÓTESIS.....	33
IV. OBJETIVOS.....	33
4.1 Objetivo general	33
4.2 Objetivos específicos	33
V. METODOLOGIA.....	34

5.1 Diseño del estudio	34
5.1.1 Esquema general de trabajo	34
5.1.2 Material, equipo y reactivos	35
5.2 Procedimiento	36
5.2.1 Preparación de la muestra	36
5.2.2 Obtención de harina de frijol cocido	37
5.2.3 Obtención de harina de frijol crudo.....	37
5.2.4 Extracción del concentrado proteico	37
5.2.5 Rendimiento del proceso de extracción de proteína	38
5.3 Análisis proximal de harinas y concentrados de frijol tépari	38
5.3.1 Determinación de humedad (AOAC 14.003)	38
5.3.2 Determinación de Cenizas (AOAC 14.006)	39
5.3.3 Determinación de proteínas (AOAC 968.06)	39
5.3.4 Determinación de lípidos (AOAC 7.056).....	40
5.3.5 Determinación de fibra cruda (AOAC 962.09)	40
5.3.6 Carbohidratos totales	40
5.4 Propiedades fisicoquímicas.....	41
5.4.1 Capacidad de absorción de agua.....	41
5.4.2 Capacidad de absorción de aceite	41
5.4.3 Capacidad espumante.....	41
5.4.4 Capacidad gelificante	42
5.4.5 Capacidad emulsionante	42
5.5 Digestibilidad <i>in vitro</i> de harinas y concentrados proteicos de frijol tépari	42
5.5.1 Determinación del porcentaje de proteína digerida	44
5.5.2 Determinación de tamaño de partícula.....	44
5.6 Electroforesis desnaturizante (SDS-PAGE).....	44
5.7 Análisis estadístico	45
VI. RESULTADOS.....	46
6.1 Análisis proximal de harinas y concentrados de frijol tépari	46

6.1.1 Harinas de frijol tépari.....	46
6.1.2 Rendimiento del proceso de extracción de proteína	47
6.1.3 Concentrados proteicos.....	48
6.2 Propiedades fisicoquímicas.....	49
6.3 Digestibilidad <i>In vitro</i> de harinas y concentrados	51
6.4 Electroforesis desnaturalizante (SDS-PAGE).....	58
VII. DISCUSIÓN.....	59
7.1 Análisis proximal de harinas y concentrados de frijol tépari	59
7.2 Rendimiento del proceso de extracción de proteína	61
7.3 Propiedades fisicoquímicas.....	63
7.3.1 Capacidad de absorción de agua.....	63
7.3.2 Capacidad de absorción de aceite	64
7.3.3 Capacidad espumante.....	65
7.3.4 Capacidad emulsionante	66
7.3.5 Capacidad gelificante	67
7.4 Digestibilidad <i>in vitro</i>	68
7.5 Electroforesis desnaturalizante (SDS-PAGE).....	70
VIII. CONCLUSIONES.....	73
IX. PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES.....	74
X. LITERATURA CITADA.....	75

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Composición nutricional de las legumbres y productos de legumbres	6
2	Clasificación de fibra dietética	12
3	Clasificación de los aminoácidos	15
4	Composición de proteínas de leguminosas según la clasificación de Osborne (g/100 g de proteína)	16
5	Principales aplicaciones y propiedades funcionales de las proteínas vegetales	19
6	Rendimiento del cultivo de frijol	24
7	Sitios arqueológicos en México, especies de <i>Phaseolus</i> y años de antigüedad	27
8	Composición del frijol tépari	29
9	Estudios relacionados con efectos de frijol tépari (<i>P. acutifolius</i> Gray)	31
10	Material, equipo y reactivos empleados en la elaboración de la presente investigación	35
11	Composición proximal de las harinas de frijol tépari	47
12	Porcentaje de proteína de los concentrados de frijol tépari	48
13	Composición proximal de los concentrados proteicos de frijol tépari	49
14	Propiedades fisicoquímicas de harinas y concentrados de frijol tépari	50
15	Resultados de gelificación de harinas y concentrados proteicos de frijol tépari crudo y cocido	51
16	Tamaño de partícula en micras (μm) de las muestras durante la fase gástrica	54
17	Tamaño de partícula en micras (μm) de las muestras durante la fase intestinal	55
18	Tamaño en micras (μm) del 90% de las partículas totales durante la fase gástrica	56
19	Tamaño en micras (μm) del 90% de las partículas totales durante la fase intestinal	57
20	Porcentaje de proteína digerida en concentrados de frijol tépari	58

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Fórmula estructural general de las proteínas, donde “R” es un grupo químico variable	13
2	Producción mundial de frijol (Millones de toneladas), 2003-2014	23
3	Consumo mundial de frijol (Millones de toneladas), 2003-2011	25
4	Clasificación de las variedades de frijol por tamaño y color	28
5	Esquema general de análisis	34
6	Diagrama de la metodología empleada para la obtención de harinas de frijol tépari cocido y crudo, así como sus respectivos concentrados proteicos.	36
7	Proceso de simulación de digestión gastrointestinal <i>in vitro</i>	43
8	Cinética de digestibilidad in vitro de harinas y concentrados proteicos de frijol tépari.	52
9	Cinética de digestibilidad in vitro de harinas y concentrados proteicos de frijol tépari.	53
10	Electroforesis SDS-PAGE de concentrados proteicos de frijol tépari.	58

NOMENCLATURA

Tr	Traza
°C	Grado Celsius
mm	Milímetro
kg	Kilogramo
g	Gramo
mL	Mililitro
μL	Microlitros
μg	Microgramos
μm	Micra o micrómetros
p	Peso
v	Volumen
h	Hora
nm	Nanómetro
rpm	Revoluciones por minuto
min	Minuto
D	Diámetro
V	Volumen
pl	Planta cosechada
<i>g</i>	Gravedades
ha	Hectárea
<i>e.g</i>	<i>Exempli gratia</i> , por ejemplo
Kcal	Kilocalorías
pH	Concentración de iones hidrógeno [H] ⁺
N	Concentración normal
M	Concentración molar
H ₂ O	Agua
NaOH	Hidróxido de sodio
HCl	Ácido clorhídrico
NaCl	Cloruro de sodio
NaHCO ₃	Carbonato de sodio

ELN	Extracto libre de nitrógeno
DT2	Diabetes mellitus tipo 2
Ca	Calcio
Fe	Hierro
Mg	Magnesio
Zn	Zinc
Na	Sodio
K	Potasio
P	Fósforo
Se	Selenio
He	Helio
O ₂	Oxígeno
N ₂	Nitrógeno
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
WAC	Capacidad de absorción de agua
OAC	Capacidad de absorción de aceite
VCT	Valor calórico total
SDS	Dodecilsulfato sódico
TGI	Tracto gastrointestinal
FIRA	Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
AOAC	Asociación de Comunidades Analíticas
FEDNA	Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
HHS	Departamento de Salud y Servicios Sociales de los Estados Unidos
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

RESUMEN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa de la dieta básica humana, forma parte de las principales fuentes de proteína en México, así como de una tradición de consumo y producción que cada vez es más limitada debido al cambio climático. El frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* Gray) por su facilidad de crecimiento y poco requerimiento de cuidados de cultivo, produce altos rendimientos en agricultura, pero bajo consumo por la escasez de información sobre sus características nutricionales. El objetivo de este trabajo fue determinar las propiedades químicas y nutricionales del concentrado proteico de frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* Gray) y sus posibles beneficios.

Las semillas de frijol crudas y cocidas presentaron porcentajes de proteína (21.14 ± 0.04 y 19.94 ± 0.06 , respectivamente) y rendimiento en concentrados proteicos similares a los reportados para otras variedades de frijol. Respecto a las propiedades fisicoquímicas, las harinas destacaron con mayor capacidad de absorción de agua, sin embargo, los concentrados proteicos presentaron mejor capacidad de absorción de aceite. La capacidad emulsionante de las muestras crudas (harina y concentrado proteico) fue mayor a lo reportado en la literatura para otras leguminosas, las muestras cocidas disminuyeron significativamente los porcentajes de esta propiedad ($p < 0.05$). La capacidad espumante de las muestras no tuvo diferencia significativa ($p > 0.05$), y se encuentra por debajo de lo reportado para otras harinas de frijol. Por último, el concentrado proteico de frijol tépari cocido presentó gelificación completa a menor concentración (2%). Los resultados de digestibilidad *in vitro* resaltan la importancia y el beneficio de aplicar un tratamiento térmico a las semillas; esto pudo observarse en la disminución del tamaño de partícula y aumento de porcentaje de proteína digerida. La electroforesis desnaturizante (SDS-PAGE) mostró que las proteínas predominantes son faseolinas y lectinas con pesos moleculares de 50 kDa y 20-30 kDa.

El frijol tépari posee una calidad nutricional y propiedades con potencial de uso como ingrediente en el desarrollo y formulación de nuevos alimentos, sin embargo, es una leguminosa limitada a la producción y consumo local que requiere de investigación para fomentar su inclusión en la dieta.

ABSTRACT

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a legume of the basic human diet, it's one of the main sources of protein in Mexico, as well as a tradition of consumption and production that is increasingly limited due to climate change. The tepary bean (*Phaseolus acutifolius* Gray) for its ease of growth and little requirement of crop care, produces high yields in agriculture, but low consumption due to the scarcity of information on its nutritional characteristics. The aim of this study was to determine the chemical and nutritional properties of the protein concentrate of tepary bean (*Phaseolus acutifolius* Gray) and its possible benefits.

Raw and cooked bean seeds showed protein percentages (21.14 ± 0.04 and 19.94 ± 0.06 , respectively) and yield in protein concentrates similar to those reported for other bean varieties. Regarding the physicochemical properties, the flours stood out with greater capacity of water absorption, however, the protein concentrates showed better oil absorption capacity. The emulsifying capacity of the raw samples (flour and protein concentrate) was higher than that reported in the literature for other legumes, the cooked samples significantly decreased the percentages of this property ($p < 0.05$). The foaming capacity of the samples had no significant difference ($p > 0.05$), and is below that reported for other bean flours. Finally, the cooked tepary bean protein concentrate presented complete gelation at a lower concentration (2%). The results of *in vitro* digestibility highlight the importance and the benefit of applying a heat treatment to the seeds, this could be observed in the decrease in particle size and increase in percentage of digested protein. Denaturing electrophoresis (SDS-PAGE) showed that the predominant proteins are phaseolines and lectins with molecular weights of 50 kDa and 20-30 kDa.

Tepary bean has a nutritional quality and properties with potential for use as an ingredient in the development and formulation of new foods, however, it is a legume limited to local production and consumption that requires research to promote its inclusion in the diet.

I. INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas de mayor consumo humano a nivel mundial, representa parte de la dieta básica de alrededor de 300 millones de personas, principalmente habitantes de países en desarrollo. Con un consumo global de 17 millones de toneladas, en 2014 fue el tercer cultivo de mayor importancia en México con 1.67 millones de hectáreas (FIRA, 2015).

Los alimentos están compuestos por macro y micronutrientes que definen su estructura, propiedades organolépticas y biodisponibilidad. Algunos alimentos como los granos y legumbres pueden ser procesados para transformarse en ingredientes y ser utilizados para el desarrollo de nuevos productos. En los últimos años, se ha relacionado la ingesta de proteína de origen vegetal con la prevención y el tratamiento de distintas patologías como; obesidad, cáncer e hipertensión, en comparación con la ingesta de una dieta omnívora típica, donde la mayoría de la proteína consumida es de origen animal (Malik *et al.*, 2016; Berkey *et al.*, 2013; De Luis Román *et al.*, 2007). Algunas de estas propiedades son atribuidas a la cantidad de fitoquímicos, como polifenoles, que poseen propiedades anticancerígenas y antioxidantes (Segura-Campos *et al.*, 2013), así como a la cantidad de fibra dietética que promueve el peristaltismo intestinal (Sastre, 2003). Su alto consumo participa como fuente de proteína vegetal y junto con los beneficios del aporte de vitaminas y minerales, se convierte en un alimento completo que a largo plazo juega un rol de prevención.

El frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* Gray), es una especie que por su facilidad de crecimiento y poco requerimiento de cuidados de cultivo, produce altos rendimientos en agricultura pero se ve limitada por la escasez de información sobre sus características (Jiménez y Acosta, 2013). A pesar de que se conocen algunas de las propiedades más representativas del frijol tépari, la escasez de conocimiento ha dado pie a esta investigación en busca de determinar las propiedades químicas y nutricionales del concentrado proteico de frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* Gray) y sus posibles beneficios.

II. ANTECEDENTES

2.1 Legumbres

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), las legumbres son semillas comestibles previamente deshidratadas obtenidas de las leguminosas, crecen de diferente tamaño, forma y color dentro de una vaina y se utilizan para consumo humano o como forraje animal. Pertenecen a la familia vegetal *Fabaceae* o *Leguminosae*, que representa el tercer grupo de plantas más abundante en el planeta y cuyo origen se remonta a hace 90 millones de años. Dentro de la familia *Fabaceae* se encuentran más de 20 000 especies y 700 géneros, entre ellos *Cicer*, *Cajanus*, *Faba*, *Lens* y *Phaseolus* (FAO, 2017).

En 2014, la producción mundial de legumbres incremento 21 millones de toneladas respecto a 2001, con una producción total de 77 millones de toneladas. Actualmente las legumbres son la principal fuente de proteína vegetal por su versatilidad gastronómica, facilidad de cultivo y adaptación geográfica, por ello el 2016 fue considerado por la FAO como el año internacional de las legumbres (FAO 2017).

2.1.1 Componentes principales y características de las legumbres

Las legumbres son alimentos ricos en macro nutrientes como: hidratos de carbono, proteína y fibra dietética, además, son fuente de hierro, zinc, potasio y folato, los cuales pueden encontrarse comúnmente en mariscos, carnes, aves de corral y algunas fuentes vegetales. Por lo tanto, las legumbres pertenecen a dos grupos de alimentos: vegetales y proteínas, donde son utilizadas para satisfacer la ingesta diaria recomendada. Debido a que la composición de nutrientes de chicharos, frijoles verdes y germinados difiere al de las legumbres,

estos se agrupan junto a los vegetales con almidón (U.S. Department of Health and Human Services and U.S. Department of Agriculture, 2015).

La ingesta de legumbres recomendada para una alimentación saludable de estilo mediterráneo y vegetariano es de 1 ½ y 3 tazas por semana, respectivamente, tomando como referencia un consumo de 2 000 calorías por día (U.S. Department of Health and Human Services and U.S. Department of Agriculture, 2015).

En cuanto a su composición nutricional, se estima un contenido energético de 350 kcal por cada 100 g de alimento crudo, sin embargo, el tipo de cocción y preparación del alimento determinará el valor final. El contenido de agua de las semillas oscila entre 1.7 y 14 %, con excepción de las semillas frescas, en conserva o sometidas a algún tratamiento previo (Enjamio-Perales *et al.*, 2017).

En la tabla 1, se detalla la composición de una porción de 100 g de legumbres comestibles de acuerdo con lo reportado por la Fundación Española de la Nutrición.

Tabla 1. Composición nutricional de las legumbres y productos de legumbres.

Nombre	Agua (g)	Energía (Kcal)	Proteínas (g)	Grasas (g)	Hidratos de carbono (g)	Fibra alimentaria (g)
Altramuces	10.4	394	36.2	9.74	40.4	-
Alubias, judías blancas, judías pintas	1.7	349	19	1.4	52.5	25.4
Arveja	3.3	342	24.6	1.2	45.4	25.5
Brotes de lentejas	67.7	129	9	0.55	22.1	-
Frijol negro	1.7	364	22.7	1.6	55.6	18.4
Frijol rojo o poroto	1.7	368	22.5	1.1	59.5	15.2
Garbanzos	5.6	373	19.4	5	55	15
Garrafón seco	10.2	384	21.5	0.69	63.4	19
Guisantes congelados	76.5	80	5.3	0.4	10	7.8
Guisantes en conserva	80.8	72	5.6	0.5	9.7	3.36
Guisantes frescos con vaina	75.2	91	6	0.5	13.1	5.2
Guisantes frescos desgranados	75.2	91	6	0.5	13.1	5.2
Guisantes secos	3.4	365	21.6	2.3	56	16.7
Habas frescas con vaina	82.2	65	4.6	0.4	8.6	4.2
Habas frescas desgranadas	82.2	65	4.6	0.4	8.6	4.2
Habas secas	0	372	23	2	56	19
Harina de algarrobo	3.6	459	4.6	0.65	88.9	39.8
Harina de soja	5	475	36.8	23.5	23.5	11.2
Judías blancas en conserva	73	100	6.7	0.2	15.7	4.4
Bebida de soja	94.4	32	2.9	1.9	Tr	0
Lentejas	8.7	351	23.8	1.8	54	11.7
Lentejas en conserva	77	83	6.3	0.2	11.4	5.1
Miso	50.4	218	11.7	6.01	26.5	5.4
Salchichas vegetales	50.4	283	18.5	18.2	9.8	2.8
Soja seca	14	406	35.9	18.6	15.8	15.7
Soja, brotes, en conserva	86.4	55	5.5	1	4.7	2.4
Tempeh	59.7	209	18.5	10.8	9.4	-
Tofu	86.7	74	8.1	4.2	0.7	0.3

Tr: Trazas

Fuente: (Moreiras, Carbajal y Cabrera, 2013; Enjamio- Perales *et al.*, 2017)

Tabla 1. Composición nutricional de las legumbres y productos de legumbres (continuación).

Nombre	Ca (mg)	Fe (mg)	Mg (mg)	Zn (mg)	Na (mg)	K (mg)	P (mg)	Se (mg)
Altramuces	176	4.36	198	4.75	15	1013	440	8.2
Alubias, judías blancas, judías pintas	128	6.7	160	4	43	1160	400	16
Arveja	55	4.4	115	3	15	981	366	-
Brotes de lentejas	25	3.21	37	1.51	11	322	173	0.6
Frijol negro	134	7.1	138	2.6	8	1464	415	-
Frijol rojo o poroto	83	6.7	138	2.8	12	1359	406	-
Garbanzos	145	6.7	160	0.8	26	797	375	2
Garrafón seco	81	7.51	224	2.83	18	1724	385	7.2
Guisantes congelados	25	1.5	27	0.9	3	340	122	1
Guisantes en conserva	20	1.5	20	0.65	222	150	62	0.7
Guisantes frescos con vaina	24	1.7	35	0.7	1	340	122	1
Guisantes frescos desgranados	24	1.7	35	0.7	1	340	122	1
Guisantes secos	72	5.3	123	3.5	38	990	300	1
Habas frescas con vaina	23	1.7	28	0.7	120	323	84	-
Habas frescas desgranadas	23	1.7	28	0.7	120	323	84	-
Habas secas	115	8.5	140	3.5	3.5	1030	590	8.2
Harina de algarrobo	348	2.94	54	0.92	35	827	79	5.3
Harina de soja	210	6.9	240	3.9	9	1660	600	9
Judías blancas en conserva	71	2.8	39	2.3	243	362	84	0.6
Bebida de soja	13	0.4	15	0.2	32	120	47	1.3
Lentejas	56	7.1	78	3.1	12	737	240	9.9
Lentejas en conserva	19	1.6	15	1.4	446	144	58	2.8
Miso	57	249	48	2.56	3728	210	159	7
Salchichas vegetales	63	3.72	36	1.46	888	231	225	7.4
Soja seca	240	9.7	250	4.3	5	1730	660	14
Soja, brotes, en conserva	32	0.89	19	0.96	30	235	75	0.6
Tempeh	111	2.7	81	1.14	9	412	266	0
Tofu	150	1.2	59	0.7	4	63	95	8.4

Tr: Trazas

Fuente: (Moreiras, Carbajal y Cabrera, 2013; Enjamio-Perales *et al.*, 2017)

Tabla 1. Composición nutricional de las legumbres y productos de legumbres (continuación).

Nombre	Vit B₁ (mg)	Vit B₂ (mg)	Eq de Niacina (mg)	Vit B₆ (mg)	Folato (µg)	Vit C (mg)	Vit A: Eq de retinol (µg)	Vit E (mg)
Altramuces	0.64	0.22	2.19	0.357	355	4.8	1	-
Alubias, judías blancas, judías pintas	0.5	0.15	5.9	0.56	0	0	Tr	-
Arveja	0.73	0.22	2.89	0.17	274	2	7	-
Brotes de lentejas	0.228	0.128	1.128	0.19	100	16.5	2	-
Frijol negro	0.47	0.15	2.09	0.53	463	1	0	-
Frijol rojo o poroto	0.61	0.22	2.11	0.4	394	5	0	-
Garbanzos	0.4	0.15	4.3	0.53	180	4	32	2.88
Garrafón seco	0.507	0.202	1.537	0.512	395	0	0	0.72
Guisantes congelados	0.3	0.11	3	0.1	78	18	50	Tr
Guisantes en conserva	0.1	0.06	0.88	0.05	12	8.8	43	-
Guisantes frescos con vaina	0.3	0.15	3	0.16	78	23	50	-
Guisantes frescos desgranados	0.3	0.15	3	0.16	78	23	50	-
Guisantes secos	0.7	0.2	5.2	0.13	33	2	42	Tr
Habas frescas con vaina	0.17	0.09	2.8	-	78	24	42	Tr
Habas frescas desgranadas	0.17	0.09	2.8	-	78	24	42	Tr
Habas secas	0.52	0.24	4.9	-	-	4	42	-
Harina de algarrobo	0.053	0.461	1.897	0.366	29	0.2	1	0.63
Harina de soja	0.75	0.28	10.6	0.46	345	0	-	1.5
Judías blancas en conserva	0.1	0.04	0.1	0.07	60	0	Tr	0.05
Bebida de soja	0.06	0.27	0.6	0.07	19	Tr	-	0.74
Lentejas	0.5	0.2	5.6	0.6	35	3	10	-
Lentejas en conserva	0.06	0.06	0.3	0.07	11	Tr	1	Tr
Miso	0.098	0.233	0.906	0.199	19	0	8.7	0
Salchichas vegetales	2.343	0.402	11.195	0.828	26	0	0	2.1
Soja seca	0.61	0.7	7.7	0.38	370	Tr	2	2.9
Soja, brotes, en conserva	0.15	0.16	1.4	0.16	160	1	4.2	0.1
Tempeh	0.078	0.358	2.64	0.215	24	0	0	-
Tofu	0.09	0.02	1.4	0.07	15	0	0.3	0.95

Tr: Trazas

Fuente: (Moreiras, Carbajal y Cabrera, 2013; Enjamio-Perales *et al.*, 2017)

2.1.1.1 Hidratos de carbono

Los hidratos de carbono son componentes esenciales de los organismos vivos, forman parte de la clase más abundante de células biológicas después de las proteínas. El nombre “hidrato de carbono” proviene de su composición química $(C-H_2O)_n$, en la que $n \geq 3$. Los hidratos de carbono son polihidroxialdehídos o cetonas, su nombre se debe a que la mayor parte de las sustancias de esta clase poseen formulas empíricas que sugieren que son “hidratos o hidratados” de carbono, en los que la relación de los átomos de carbono, hidrogeno y oxigeno es de 1:2:1. Su unidad básica es el monosacárido, ya que todos los hidratos de carbono están compuestos de él, los polímeros que contienen de dos a seis unidades de monosacáridos se llaman oligosacáridos, y aquellos con más de seis unidades de monosacáridos son polisacáridos (Melo y Cuamatzi, 2007).

Parte de la importancia de los hidratos de carbono se debe a que su función principal es almacenar energía. El cuerpo requiere mantener un equilibrio y abasto constante de energía, por lo que la mitad de los hidratos de carbono se almacena en el hígado y los músculos, disponibles para cuando se requieran. Los alimentos de origen vegetal, los granos de cereal y las frutas, son las fuentes principales, donde cada gramo de carbohidratos aporta 4 calorías (Roth, 2009).

Los hidratos de carbono son el principal macronutriente presente en las leguminosas, se encuentra en mayores proporciones en forma de almidón, polisacáridos de la pared celular mejor conocida como fibra dietética y pequeñas cantidades de oligosacáridos (Vargas-Torres *et al.*, 2006; Enjamio-Perales *et al.*, 2017).

2.1.1.1.1 Almidón

Diariamente el ser humano consume aproximadamente cerca del 70 al 80% de sus calorías en forma de almidón (Hernández-Medina *et al.*, 2008). El almidón es un homopolisacárido de reserva o almacenamiento producido por las plantas. Las plantas verdes producen almidón como producto final del proceso de fotosíntesis, sin embargo, los cereales y leguminosas, destacan por su alto contenido de almidón en las semillas, otros cultivos con alto contenido de almidón son la papa, la yuca y el camote, que almacenan el almidón en el tubérculo subterráneo (Melo y Cuamatzi, 2007).

El almidón está constituido de dos polisacáridos: amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa que no es soluble en agua, tiene capacidad de formar micelas hidratadas y enlazar moléculas por puentes de hidrogeno. La amilopectina es un polímero ramificado parcialmente soluble cuando el agua está caliente (Martínez, Hernández y Ramírez, 2013). El almidón representa entre 30 y 50% del peso seco de las leguminosas, su clasificación se basa en sus características nutricionales como digestible y resistente. El almidón digestible, es digerido de manera rápida en el intestino delgado debido a su susceptibilidad al ataque enzimático. El almidón resistente, representa la parte de productos de degradación de almidón total que no son absorbidos en el intestino delgado y se comportan como fibra dietética (Miranda, Marrugo y Montero, 2013; Pérez-Navarrete *et al.*, 2007). La estructura y composición de los almidones se encuentra ligada con la interacción de las proteínas del alimento, ya que determinan la digestibilidad del almidón contenido en el grano y su valor energético disponible (Villarreal *et al.*, 2015).

2.1.1.1.2 Fibra dietética

La fibra dietética, está conformada por polisacáridos y algunas otras sustancias que no son parte de los carbohidratos. Su característica principal es que no pueden ser digeridos por el organismo humano. El Codex Alimentarius (2006) definió fibra dietética como “polímeros de carbohidratos con un grado de polimerización no inferior a 3, que no son digeridos y/o absorbidos en el intestino delgado” (Sánchez *et al.*, 2015).

En función de su solubilidad, la fibra ha sido clasificada en soluble e insoluble (Tabla 2). La fibra soluble incluye almidón resistente, pectinas, gomas, mucilagos, hemicelulosas y polisacáridos, además de fracciones de lignina, cutina, taninos, suberina y ácido fítico. Una de sus características principales es que son compuestos hidratables que forman geles en el tracto digestivo (Sánchez *et al.*, 2015; Escudero y González, 2006).

La fibra insoluble incluye celulosa, algunas hemicelulosas, lignina y otros polifenoles. A diferencia de la fibra soluble cuando es fermentada por las bacterias que se encuentran en el colón, está actúa en la formación y el tránsito intestinal del bolo fecal, aumentando su volumen y acelerando su tránsito. Los productos gaseosos totales de la fermentación, así como las proporciones entre ellos, es dependiente de la bacteria presente y el tipo de sustrato afectado. Debido a que los seres humanos no pueden digerirla, no tiene valor energético, pero es útil para proporcionar volumen a las heces (Sastre, 2003; Faraldo, Pissini y Costa, 2009).

Esta parte que no es digerida, a través del tracto gastrointestinal interactúa con diferentes elementos y capta agua. Convirtiendo a la fibra en un elemento importante en el proceso de digestión que limita y disminuye la velocidad de absorción de algunos nutrientes, favoreciendo el tránsito intestinal. A su vez, la fibra contribuye a mejorar el perfil lipídico, disminuyendo la absorción intestinal

de ácidos grasos y colesterol. Por efecto de fermentación libera ácidos grasos de cadena corta (acetato, propionato, butirato), ejerciendo un efecto inhibidor de la síntesis endógena de colesterol (Rodríguez y Fernández, 2003).

Tabla 2. Clasificación de fibra dietética.

Fibra dietética		
Fibra insoluble Polisacáridos estructurales	Fibra soluble Polisacáridos no estructurales	No hidratos de carbono
Celulosa	Gomas	Lignina
	Mucílagos	Cutina
Hemicelulosa		Sustancias pécticas
	Suberina	
	Ácido fítico	

Adaptado de: (Davila, Sangronis y Granito, 2003; Escudero y González, 2006)

2.1.1.2 Fracción lipídica

Los lípidos (del griego *lipos*, grasa) son ésteres de ácidos monocarboxílicos, que generalmente llevan una larga cadena hidrocarbonada que puede poseer un grupo “OH”. Es un conjunto de moléculas orgánicas, cuya característica fundamental es ser insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos apolares, como: cloroformo, éter, benceno, entre otros. Además, a diferencia de las proteínas y los polisacáridos, los lípidos no son polímeros, ya que son moléculas más pequeñas que tienden a asociarse mediante enlaces no covalentes (Melo y Cuamatzi, 2007).

El término “grasa” es comúnmente usado como un sinónimo de “lípidos”, esta proporciona una fuente de energía mayor a la de los carbohidratos, donde cada gramo de grasa aporta 9 calorías. Una de sus principales funciones es mantener la estructura de los tejidos corporales y transportar vitaminas solubles en grasa (e.g. A, D, E y K). Algunos de los alimentos de origen vegetal con alto contenido de lípidos son las nueces, las aceitunas, algunas semillas y el aguacate (Roth, 2009).

El porcentaje de la fracción lipídica de las legumbres es de aproximadamente 3% y está constituida principalmente por ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico 18:2 n-6 y ácido α -linolénico 18:3 n-3) y monoinsaturados (ácido oleico, 18:1 n-9), por su origen vegetal las legumbres no contienen colesterol (Enjamio-Perales *et al.*, 2017).

2.1.1.3 Proteínas

Las proteínas, son las macromoléculas más abundantes en las células y constituyen casi la mitad del peso seco de la mayor parte de los organismos, su nombre fue otorgado en 1938 por el científico sueco Jons Jacob Berzelius, quien las denominó “proteínas”, nombre que se deriva del griego *proteios* y significa “lo primero” o “lo primario”. Químicamente las proteínas son polímeros de aminoácidos unidos mediante grupos amino y carboxilo por enlaces covalentes, llamados enlaces peptídicos (Figura 1) (Melo y Cuamatzi, 2007; Morrison y Boyd, 1998).

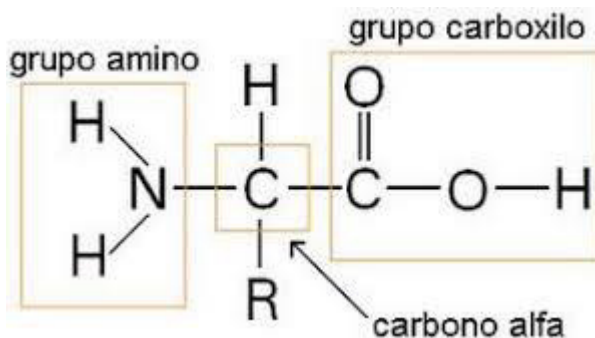


Figura 1. Fórmula estructural general de las proteínas, donde “R” es un grupo químico variable.

Una de las principales funciones de las proteínas es construir y reparar tejidos corporales. Cuando las células se degradan durante el metabolismo (catabolismo), los aminoácidos que se liberan en la sangre son utilizados para construir tejidos y reparar otros (anabolismo). Además, ayudan a mantener el equilibrio entre líquidos y electrolitos en el cuerpo, evitando la formación de

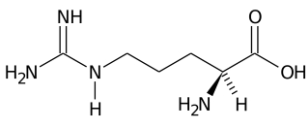
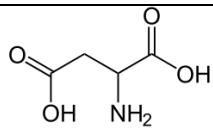
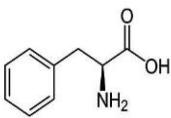
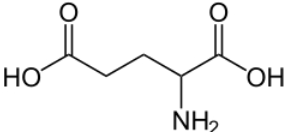
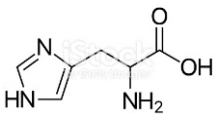
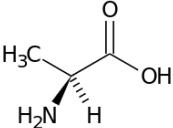
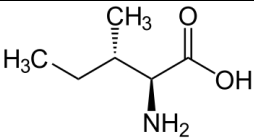
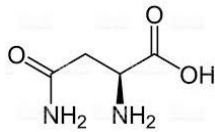
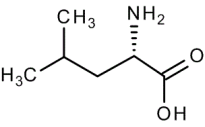
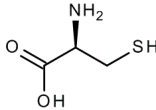
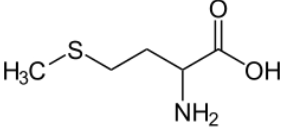
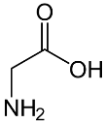
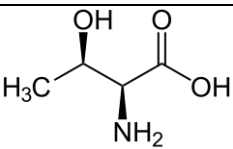
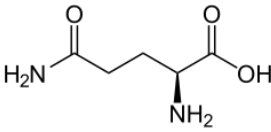
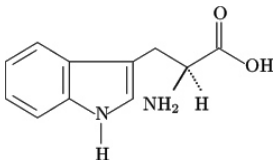
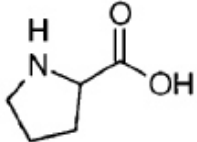
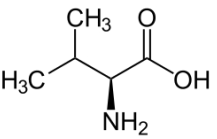
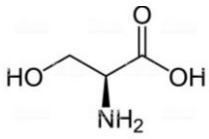
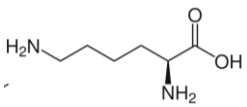
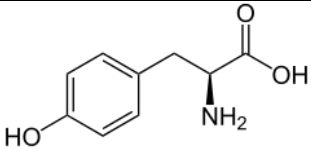
edemas. Son esenciales en el desarrollo de anticuerpos y mantener un sistema inmune saludable (Roth, 2009).

Los aminoácidos se dividen en esenciales y no esenciales. Los esenciales, son aquellos que no pueden ser metabolizados por el organismo ya que la biosíntesis es insuficiente o imposible (en el caso de la lisina y la treonina), por lo que deben suministrarse mediante la dieta, y los no esenciales son aquellos que pueden sintetizarse por el organismo a partir de intermediarios del metabolismo hidrocarbonado o desde otros aminoácidos. Existen 20 aminoácidos, pero solo 10 se consideran esenciales para los seres humanos (Tabla 3), cuando una proteína contiene aminoácidos esenciales en una relación adecuada, se considera una proteína completa y de alto valor biológico (Roth, 2009; Díaz, 2017).

Las proteínas aportan 4 calorías por gramo, proporcionan energía cuando existe escasez de carbohidratos y lípidos en la dieta. Las principales fuentes alimenticias son las de origen animal, como; carnes, pescado, aves de corral, huevos, leche y queso, sin embargo, a diferencia de las fuentes de origen vegetal, estas contienen grasas saturadas y colesterol (Roth, 2009).

Algunos alimentos de origen vegetal con altos contenido de proteína son los granos, nueces y legumbres como soya, alubias, habas, frijoles y garbanzos. Las legumbres forman parte de la principal fuente de proteína de origen vegetal del ser humano, con un porcentaje de proteína de 19-36% dependiendo de la variedad y especie, sin embargo, se encuentran limitados en aminoácidos azufrados como metionina y cisteína. Por otro lado, destacan en lisina y triptófano que son aminoácidos deficientes en cereales, esto permite que las legumbres sean complementadas con otros alimentos de origen animal o vegetal para obtener proteínas de alto valor biológico (Enjamio-Perales *et al.*, 2017).

Tabla 3. Clasificación de los aminoácidos.

Aminoácidos			
Esenciales		No esenciales	
Arginina*		Ácido aspártico	
Fenilalanina		Ácido glutámico	
Histidina*		Alanina	
Isoleucina		Asparagina	
Leucina		Cisteína	
Metionina		Glicina	
Treonina		Glutamina	
Triptófano		Prolina	
Valina		Serina	
Lisina		Tirosina	

*Esenciales durante la infancia (Roth, 2009)

2.1.1.3.1 Perfil de proteínas por solubilidad y puntos isoelectricos

Las proteínas de las legumbres pueden ser clasificadas y distinguidas por su composición, forma, solubilidad, punto isoelectrico y función biológica. La clasificación más utilizada es de acuerdo con su solubilidad, siendo el método de Osborne (1924) el más conocido (Tabla 4). Estas propiedades se determinan por la cantidad y tipo de aminoácidos en su composición. Cuando una proteína está compuesta por muchos aminoácidos con residuos hidrófobos, la solubilidad en agua será menor que cuando contiene mayor cantidad de grupos hidrofílicos. Las proteínas vegetales se clasifican de acuerdo con su solubilidad en: solubles en agua (Albúminas), solubles en soluciones salinas (Globulinas), solubles en soluciones ácidas y básicas (Glutelinas) y solubles en soluciones alcohólicas (Prolaminas). En granos y leguminosas, la mayor proporción de proteínas son globulinas, seguida de albúminas, glutelinas y prolaminas respectivamente. Por lo que esta fracción influye en la calidad nutrimental de la proteína total (Mederos, 2006 ; Chel-Guerrero *et al.*, 2003).

Tabla 4. Composición de proteínas de leguminosas según la clasificación de Osborne (g/100 g de proteína)

Grano de leguminosa	Fracciones			
	Albúminas	Globulinas	Prolaminas	Glutelinas
Frijol común ¹	27.6-36.6	35-39.3	0.1-0.2	0.4-0.2
Canavalia ²	14.0	66.0	14.0	0.8
Canavalia ³	12.0	79.0	6.0	0.3
Lupino ⁴	11.2	71.8	1.0	5.5
Chícharo ⁵	21.0	66.0	-----	12.0
Soya ⁶	10.0	90.0	0	0

¹*Phaseolus vulgaris*, ²*Canavalia ensiformis*, ³*Canavalia gladiata* (Samonte *et al.*, 1989),

⁴*Lupinus mutabilis* Sweet, ⁵*Pisum Sativum*, ⁶*Glicine max*.

Tomado de: (Chel-Guerrero *et al.*, 2003).

Además de considerar la solubilidad para la separación de las fracciones de proteína, otro factor importante para lograr que precipiten es el punto isoelectrico. Este se define como “concentración de ion hidrógeno de la solución

para la cual un aminoácido determinado migra en un campo eléctrico” (Morrison y Boyd, 1998). Los puntos isoeléctricos de las proteínas vegetales oscilan en rangos que van desde un pH 0.5 a 8.2, dependiendo de la fuente o materia prima de la que se extrae y el solvente utilizado (Summer, Nielsen y Youngs, 1981).

2.1.1.3.2 Importancia de la proteína de origen vegetal en la alimentación

El incremento en la prevalencia de sobrepeso y obesidad, el aumento de casos de diabetes tipo 2, síndrome metabólico y enfermedades cardiovasculares, desafía a la industria alimentaria a desarrollar productos nutritivos y saludables con altos niveles de aceptación (Boland *et al.*, 2014).

Los alimentos están compuestos por macronutrientes y micronutrientes, los cuales definen la estructura del alimento e influyen en las propiedades organolépticas y la biodisponibilidad de los nutrientes. Algunos productos como carne, pescado, frutas y vegetales son preservados y procesados al mínimo, con la finalidad de mantener una matriz alimentaria natural, sin embargo, el procesamiento está diseñado para preservar, transformar, destruir y recrear la estructura de los alimentos y en algunos casos como el de los granos y legumbres, resulta en una variedad de ingredientes que incluye: harinas, almidones, aceites y aislados proteicos. Estos ingredientes son transformados en una variedad de nuevos alimentos (*e.g.* productos de panificación, salsas, botanas y postres) a través de distintos procesos de mezclado, cocción y enfriamiento (Boland *et al.*, 2014).

Una dieta que incluye el consumo de vegetales se caracteriza por un aumento en la ingesta de hidratos de carbono complejos, fibra, proteínas vegetales, grasas poliinsaturadas, antioxidantes, folatos y la disminución de la ingesta calórica total. Por otra parte, la alimentación basada en proteínas animales, purinas, grasas saturadas, colesterol, sodio y azúcares refinados se encuentra

vinculada a la aparición de síntomas en distintas enfermedades (De Luis Román *et al.*, 2007).

Actualmente se ha relacionado la ingesta de proteína de origen vegetal con la prevención y el tratamiento de distintas patologías como; obesidad, cáncer, Parkinson, hipertensión arterial, diabetes mellitus tipo 2 (DT2) y cálculos renales, en comparación con la ingesta de una dieta omnívora típica, donde la mayoría de la proteína es de origen animal (De Luis Román *et al.*, 2007).

Las proteínas dietéticas son importantes moduladores del metabolismo de la glucosa, algunos estudios han evaluado la asociación entre el tipo de proteína (animal y vegetal) y el riesgo de diabetes tipo 2, encontrando que la sustitución de la ingesta de proteínas animales por proteínas vegetales tiene un efecto reductivo (Malik *et al.*, 2016). Por otro lado, a pesar de que existe una predisposición genética de padecer cáncer de mama, el consumo de proteína vegetal puede ayudar a reducir este riesgo en mujeres preadolescentes y adolescentes (Berkey *et al.*, 2013).

2.1.1.3.3 Concentrados proteicos de legumbres: propiedades funcionales y proceso de digestión

El contenido de proteína de las legumbres (19-36 %), las convierte en una materia prima con potencial para la obtención de aislados y concentrados para la elaboración de suplementos y el desarrollo de nuevos alimentos. Para que se considere un concentrado, este debe tener un contenido aproximado de 47-55% de proteína. Un aislado es producido a partir de un concentrado y representa una forma más refinada de proteína con un contenido mínimo de 75-90 % de proteína (FEDNA, 2018; Villacrés Poveda, 2001).

Los concentrados proteicos presentan mejores características químicas que las harinas donde se utiliza toda la materia prima, y aunque posee mayores

porcentajes de proteína, también tienen otros componentes como: fibra, azúcares reductores, lípidos y fenoles (Vioque *et al.*, 2001).

El uso de proteínas vegetales en la formulación de alimentos depende principalmente de las propiedades funcionales de la materia prima vegetal, como: índice de absorción de agua y aceite, capacidad emulsionante y espumante, estabilidad de la espuma y la emulsión, capacidad de gelificación y solubilidad proteica (Granito *et al.*, 2009). Estas propiedades permiten mejorar la calidad nutricional y sensorial de los alimentos a partir de fuentes naturales, logrando sustituir de manera parcial o total ingredientes químicos. En la tabla 5, se enlistan algunas de las principales aplicaciones y funcionalidad de las proteínas de origen vegetal (Chel-Guerrero *et al.*, 2003).

Tabla 5. Principales aplicaciones y propiedades funcionales de las proteínas vegetales.

Aplicaciones	Funcionalidad
Productos cárnicos	Enlazamiento de agua, emulsificación, gelificación o texturización
Mariscos	Blancura, solubilidad y gelificación
Imitación de queso	Blancura, gelificación y emulsificación, fusión del gel y elasticidad
Cubierta de batidos	Capacidad emulsionante, estabilidad de la emulsión y solubilidad
Leche de soya ultrapasteurizada	Capacidad emulsionante, estabilidad de la emulsión y solubilidad
Bebidas para niños y adultos	Sabor suave, blancura, solubilidad y estabilidad de la emulsión
Productos de panadería	Enlazamiento de agua, formación de la interfase y gelificación
Tofu instantáneo	Gelificación

Fuente: (Chel-Guerrero *et al.*, 2003) (modificado)

Además del desarrollo de nuevos productos, es necesario analizar el proceso de digestión de los alimentos para recomendar su consumo y determinar el aprovechamiento de sus nutrientes. La digestión es el proceso de descomponer la estructura de los alimentos para permitir la liberación de nutrientes

individuales que pueden ser absorbidos a través de la pared del tracto gastrointestinal (TGI) (Boland *et al.*, 2014).

El tracto gastrointestinal humano o canal alimentario es un tubo abierto que atraviesa la cavidad ventral del cuerpo. Comprende la cavidad oral, esófago, estómago, intestino delgado (incluidos duodeno, yeyuno e íleon), intestino grueso (incluidos colon ascendente, transversal y descendente), recto y ano. Las glándulas que recubren el TGI suministran agua, enzimas y el ambiente químico requerido para la digestión. Este proceso consiste en tres fases: oral, gástrica e intestinal (Boland *et al.*, 2014).

La fase oral es el primer contacto con el alimento y empieza en la boca, aquí es procesado y manipulado mecánica y bioquímicamente para permitir su paso a través de la faringe y el esófago hasta el estómago, esta fase afecta principalmente la estructura de los alimentos frescos o procesados en estado sólido y semisólido a través de la masticación, dando como resultado pequeñas partículas de alimento que mezcladas con saliva permite la formación del bolo y alcanzar la temperatura corporal (Boland *et al.*, 2014).

La fase gástrica comienza una vez que el bolo alimenticio llega al estómago y se mezcla con los jugos digestivos para después propulsarlos al intestino delgado. Los movimientos gástricos inducen un efecto abrasivo entre la mezcla con los jugos gástricos para crear el quimo, que posteriormente es desplazado gracias a los movimientos del antro hasta el intestino delgado. En estado de ayuno, el jugo gástrico tiene un pH basal entre 1 y 3. La ingesta de alimentos aumenta el pH a 5.5 – 7 y después de aproximadamente 60 minutos (tiempo de vaciado del estómago) disminuye hasta llegar a pH de 4 – 5. El jugo gástrico contiene pepsina que actúa en las proteínas para lograr que se digieran parcialmente, pero algunas de ellas son resistentes a esta acción (Boland *et al.*, 2014).

Una vez que los alimentos llegan al intestino delgado, comienza la fase intestinal, este es el sitio principal para la digestión y liberación de nutrientes capaces de absorberse. La secreción de jugo pancreático contiene iones bicarbonato que inducen un cambio drástico en el pH con un valor medio de 6.25. Las secreciones pancreáticas contienen muchas enzimas, como proteasas y peptidasas (tripsina, quimotripsina, carboxipeptidasas), lipasas y esterases (lipasa pancreática, colesterol esterasa, fosfolipasa, etc.) y amilasas pancreáticas. Las proteínas y los péptidos resistentes a los gases se hidrolizan aún más mediante tripsina, quimotripsina y otras proteasas (del borde del cepillo) en aminoácidos; los péptidos más pequeños son captados por los enterocitos del intestino delgado. Cualquier material no digerido llega al colon, donde es fermentado por la microbiota intestinal. Las proteínas no digeridas se fermentan, produciendo ácidos grasos de cadena corta (principalmente acetato, propionato y butirato) que se absorben en el colon (Boland *et al.*, 2014).

2.2 Género *Phaseolus*

2.2.1 Antecedentes históricos

El origen del frijol del género *Phaseolus* se remonta a hace más de 7,000 años. Originario de América, el frijol es el tercer cultivo más sembrado en México, después del maíz y el sorgo; ofrece vainas tiernas (ejotes) que permiten un consumo inmediato o semillas secas que pueden ser almacenadas para un consumo posterior, además de ayudar a la fijación de nitrógeno en el suelo, beneficiando a cultivos como el maíz que lo requiere para su crecimiento (FIRA, 2015; Muñoz, 2010).

De acuerdo con el Códice Mendocino, los aztecas daban tanta importancia al frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) que lo incluían en los tributos de otros pueblos, fue así como durante los 500 años posteriores no desapareció de la dieta nacional y junto con el maíz, representa la dieta mexicana base. Su papel alimenticio es aún más significativo para las clases de menores recursos, que

encuentran en el frijol los nutrimentos esenciales que no pueden consumir directamente de alimentos de origen animal (Muñoz, 2010).

2.2.2 Características biológicas

El género *Phaseolus* pertenece a la familia de las leguminosas (*Leguminosae* o *Fabaceae*), un grupo de especies vegetales que comprende 150 tipos de frijoles diferentes, de los cuales alrededor de 50 se encuentran en México con variedad en tamaño, colores y requerimientos ecológicos o de cultivo. Se conocen con los nombres de frijol, poroto, alubia, caraota y judía. Fueron domesticados en Mesoamérica hace alrededor de 8,000 años y se distribuyen desde México hasta Argentina (CONABIO, 2016).

Las plantas de frijol son hierbas rastreras y trepadoras con foliolos de tres hojas, tienen flores de tonalidades rosas, lilas y violetas, semillas en forma de riñón que crecen en una vaina comestible como legumbre y raíces con nódulos donde existen bacterias fijadoras de nitrógeno (CONABIO, 2016). El frijol pertenece a una de las leguminosas con semillas comestibles más importantes en la dieta, especialmente en Centroamérica y Sudamérica (Ulloa *et al.*, 2011).

2.2.3 Producción y rendimiento de cultivo

Anualmente se cosechan alrededor de 29.5 millones de hectáreas de frijol en sus diferentes variedades, dando como resultado 25 millones de toneladas a nivel global. El principal consumo de frijol se lleva a cabo por habitantes de países en desarrollo con un consumo per cápita promedio de 2.5 kilogramos por persona cada año (FAO, 2015).

Entre el 2003 y 2014, la producción mundial de frijol creció a una tasa promedio anual de 1.6 %, ubicándose en 25.1 millones de toneladas. La cosecha de esta

leguminosa se caracteriza por incrementar año tras año su promedio anual de superficie cosechada en 0.5 % y 1.0 % en cuanto a rendimiento (FAO, 2015).

En 2014, el 63.0% de la producción mundial de frijol se concentró en siete países (Figura 2): India (16.4%), Myanmar (14.9 %), Brasil (13.1 %), Estados Unidos (5.3 %), México (5.1 %), China (4.1 %) y Tanzania (4.1 %) (FIRA, 2015).

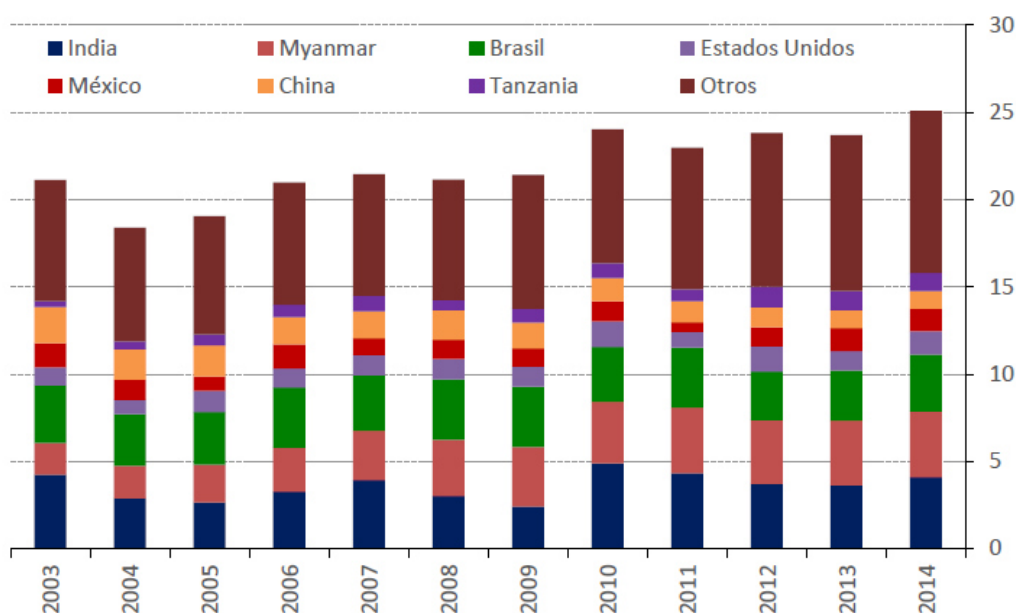


Figura 2. Producción mundial de frijol (Millones de toneladas), 2003-2014 (FIRA, 2015)

En el cultivo de frijol, los rendimientos pueden verse afectados por la disponibilidad de agua y humedad, ya que la mayor parte de la superficie cultivada pertenece a regiones con régimen de temporal. La productividad promedio por hectárea en México en el periodo 2004-2014 mostró un alza en riego de 1.49 toneladas por hectárea, mientras que en temporal fue de 639 kilogramos por hectárea, ubicando la producción de frijol en México en 758 kilogramos por hectárea (FIRA, 2015).

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la cosecha de frijol durante los años 2013 y

2014 favoreció la acumulación de inventarios al final de los ciclos comerciales 2013-2014 y 2014-2015 superando las 200 mil toneladas. Volumen que representa cerca del 20% del consumo nacional. Como consecuencia de la reducción de la producción de frijol en el año agrícola 2015, se estima que los inventarios de frijol al cierre de los ciclos posteriores se reduzcan (SAGARPA, 2015).

En la siguiente tabla (Tabla 6) puede observarse como el frijol tépari café destaca con 109.06% en rendimiento de cultivo en riego con respecto a sequía, seguido de frijol pinto Saltillo con 41.8%. Estos valores generan una idea de la capacidad del frijol tépari para mantener su desarrollo en temporadas de sequía; que tras el cambio climático, cada vez son más recurrentes, así como su potencial de crecimiento al cultivarse bajo condiciones de riego (Jiménez y Acosta, 2013).

Tabla 6. Rendimiento del cultivo de frijol.

Variedad	Semilla sembrada promedio (pl/m)	Rendimiento sequia (kg/ha)	Rendimiento riego (kg/ha)	Incremento respecto a sequía (%)
Pinto Saltillo	12	1192	1691	41.8
Rosa La Bufa	12	1484	1641	10.5
Pinto Villa	12	1201	1454	21.06
Tépari Café	12	1070	2237	109.06
Azufrado Higuera	12	144	195	35.4
Tépari pinto	12	963	1164	20.8

pl: plantas de polinización cruzada, ha: hectarea.

Fuente: Jiménez y Acosta, 2013 (Modificado).

2.2.4 Consumo nacional e internacional

El frijol es un componente básico en la dieta de alrededor de 300 millones de personas, con un consumo global de 17 millones de toneladas, se muestran altas concentraciones tanto en consumo como en producción. Los primeros cinco países consumidores representan el 57.7 % del consumo mundial: India

(24.7%), Brasil (19.0%), Estados Unidos (5.5%), México (5.3%) y Tanzania (3.3%) (Figura 3) (FAO, 2015).

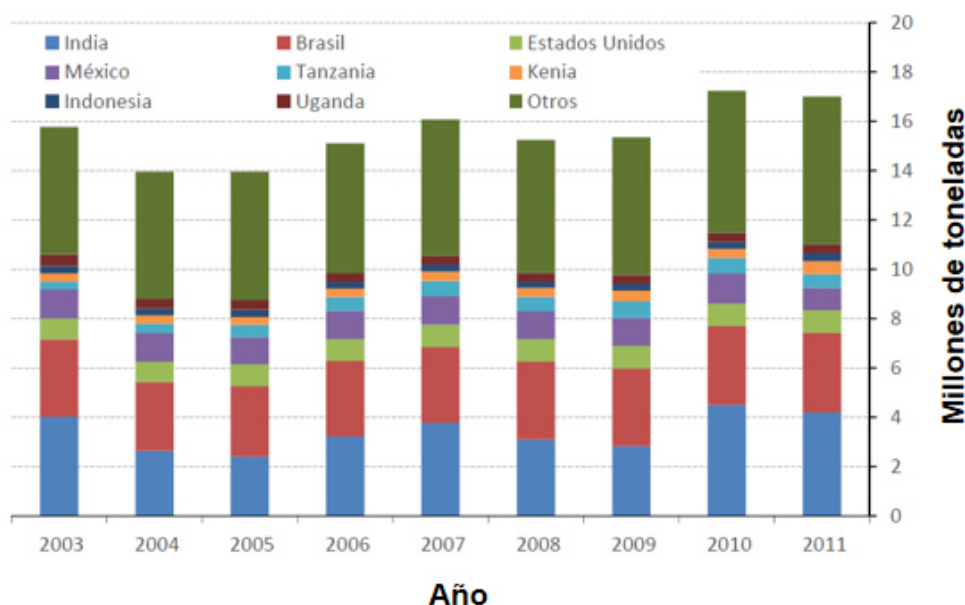


Figura 3. Consumo mundial de frijol (Millones de toneladas), 2003-2011 (FAO, 2015).

El consumo de frijol a nivel regional varía de acuerdo con el tipo de grano. En la región norte de México existe preferencia por los frijoles pintos, en la zona noroeste por los frijoles azufrados, en la región centro por las variedades flor de mayo y flor de junio, mientras que en el sur y sureste se tiene preferencia por el frijol negro (FIRA, 2015).

El consumo per cápita de frijol en México reportó una ligera disminución durante los últimos treinta años, al pasar de 16 kilogramos por persona por año en la década de 1980 a alrededor de 10 kilogramos en la actualidad. Lo anterior debido a diversos factores entre los que destacan la migración, el urbanismo, la reducción en el número de miembros en las familias, cambios en el poder adquisitivo, y la incorporación de la mujer a la actividad laboral; así como la sustitución del consumo de frijol en grano por frijol industrializado de fácil preparación (FIRA, 2015).

2.2.5 Componentes nutricionales

Dependiendo del tipo de frijol, el contenido de proteínas varía del 14 al 33%, siendo rico en aminoácidos como lisina (6.4 a 7.6 g/100 g de proteína) y fenilalanina más tirosina (5.3 a 8.2 g/100 g de proteína), pero con deficiencias en aminoácidos azufrados (metionina y cisteína). Sin embargo, evaluaciones de tipo biológico informan que la calidad de la proteína del frijol cocido puede llegar a ser de hasta 70% comparada con una proteína testigo de origen animal a la que se le asigna el 100% (Ulloa *et al.*, 2011).

Con relación al aporte de carbohidratos, se estima un contenido de 52 a 76 g por cada 100 g de frijol crudo. Donde el almidón constituye la fracción más importante y representa la principal fracción de energía, a pesar de que durante la cocción, una parte de la misma queda indisponible al transformarse en el denominado “almidón resistente a la digestión” (Ulloa *et al.*, 2011).

2.2.6 Especies del género *Phaseolus*.

En algunas regiones de México, Estados Unidos y Perú, existe evidencia, con antigüedad de 500 a 8 000 años que indica que el frijol del género *Phaseolus*, se originó en el continente americano (Reyes *et al.*, 2008). Paredes-López *et al.*, (2006) destacan a México como posible lugar de origen por ser un país donde se han encontrado prototipos de especies silvestres de los cinco grupos más cultivados: *P. vulgaris*, (frijol común); *P. acutifolius* Gray, (frijol tépari); *P. lunatus*, (frijol lima); *P. coccineus*, (frijol escarlata); y *P. polyanthus*, (frijol anual).

El frijol común, tal como su nombre lo describe, es la variedad más conocida, estudiada y consumida a nivel nacional. Desde el punto de vista taxonómico, el frijol común es el prototipo del género *Phaseolus*. Su nombre científico fue asignado por Carlos Linneo en 1753 (Debouck y Hidalgo, 1984).

En México existe evidencia arqueológica de distintas especies de frijol, que van desde los 1200 hasta los 9000 años de antigüedad, tal como se muestra en la tabla 7 (Reyes *et al.*, 2008).

Tabla 7. Sitios arqueológicos en México, especies de *Phaseolus* y años de antigüedad.

Lugar	<i>P. Vulgaris</i>	<i>P. Lunatus</i>	<i>P. Coccineus</i>	<i>P. Acutifolius</i>
Río Zape, Sonora	1,300	1,300	1,300	--
Ocampo, Tamaulipas	4,300	1,100	--	--
Ocampo, Tamaulipas	6,000	1,800	7,500-9,000	--
Tehuacán, Puebla	6,000	1,400	2,200	5,000
Dzibilchaltún, Yucatán	--	1,200	--	--

Fuente: (Hernández *et al.*, 1991); Adaptado de (Reyes, *et al.*, 2008) (modificado).

Las variedades de frijol pueden clasificarse en base a su consumo como grano seco y vaina verde; la duración del periodo vegetativo que puede ser precoz o tardía; la reacción al fotoperiodo en variedades sensibles, insensibles o neutras y de acuerdo a los factores limitantes de la producción en resistentes y susceptibles. Por otro lado, algunos países clasifican sus variedades de frijol por las características de tamaño y color del grano (Figura 4). De acuerdo al color, la clasificación puede ser: blanco, crema, amarillo, café marrón, rosado, rojo, morado, negro u otros. En cuanto al tamaño, éste se determina por el peso de 100 granos y los materiales se clasifican en tres grupos: pequeños (hasta 25 g/100 semillas), medianos (entre 25 y 40 g/100 semillas) y grandes (desde 40 g/100 semillas) (Ulloa *et al.*, 2011).



Figura 4. Clasificación de las variedades de frijol por tamaño y color.

2.2.6.1 Frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* Gray)

El frijol tépari es una de las dos especies cultivadas que no fueron nombradas por el botánico sueco Carlos Linneo. Este tipo de frijol silvestre fue llamado *Phaseolus acutifolius* por el botánico Asa Gray en el siglo XIX (Long, 2003).

Además de crecer en tierras áridas, ser tolerante a plagas (*Pseudomonas phaseolicola* y *Xanthomonas phaseoli*), a la sequía nativa de la región suroccidental de América del Norte y a suelos con altas concentraciones de sales y boro, el frijol tépari posee un conjunto de propiedades físicas y químicas ligadas con su valor nutritivo haciéndolo un recurso importante de proteínas, fibra, vitaminas y minerales (Mederos, 2006; Osman, Reid y Weber, 2002).

Existe evidencia que sugiere que la planta de frijol tépari por su adaptabilidad a altas temperaturas, baja humedad y ciclos de crecimiento corto, es un cultivo atractivo para los agricultores. Lo que le permite estar mejor acondicionado que el frijol común (*Phaseolus vulgaris*) y otras leguminosas para crecer en zonas

áridas, logrando beneficios económicos y ecológicos. Además de representar una fuente de material genético para los mejoradores de semillas (García-Gasca *et al.*, 2012).

La supervivencia y el crecimiento de las plantas de frijol están determinadas por factores bioquímicos, moleculares, biológicos y fisiológicos, sustancias osmoprotectoras, como carbohidratos, aminoácidos libres y prolaminas. Estos factores se encuentran vinculados con el aumento en el rendimiento y síntesis de proteínas. A través del estrés hídrico se induce la actividad de ornitina aminotransferasa, aumentando la concentración de ornitina y en consecuencia la concentración de proteína y la fabricación de urea, donde la producción de urea elimina el nitrógeno del amoníaco logrando el desecho de estas toxinas (González de Mejía *et al.*, 2003).

El contenido de proteína del frijol tépari es alto comparado con el de otras legumbres y variedades de frijol común. Es importante tomar en cuenta que los porcentajes varían por cosecha y todos los factores que conlleva. La siguiente tabla muestra los porcentajes aproximados de la composición química del frijol tépari (tabla 8). Se puede apreciar que el mayor porcentaje pertenece a carbohidratos (54.33%) y proteína (21.47%), lo cual convierte a esta legumbre en una fuente potencial y en un alimento completo.

Tabla 8. Composición del frijol tépari.

Componente	Porcentaje (%)		
Humedad	4.04		
Proteína	21.47		
Grasa	1.01		
Carbohidratos	54.33		
Fibra dietética	19.15	Soluble	0.95
		Insoluble	18.20

Adaptada de: (Idouraine *et al.*, 1995)

Actualmente se han realizado estudios con semillas de frijol tépari que sustentan su potencial funcional y nutricional (Tabla 9). García-Gasca *et al.*, (2012) ha demostrado que los inhibidores naturales de proteasa son proteínas con potencial contra el desarrollo y la diseminación del cáncer, principalmente por su selectividad de enzimas específicas.

Las lectinas se pueden unir a la membrana celular a través del reconocimiento específico de los glicoconjugados, lo que da como resultado cambios en la función celular, inhibiendo la proliferación y la formación de colonias, causando hemaglutinación y efectos citotóxicos en las células tumorales humanas. Tienen propiedades anticancerígenas *in vitro* e *in vivo*, uniendo proteínas o receptores de membrana de células cancerosas que causan apoptosis e inhibición del crecimiento tumoral (García-Gasca *et al.*, 2012).

Otros estudios, han señalado que las semillas de frijol tépari y su material genético puede ser empleado para fortalecer y brindar ciertas características que benefician otras variedades de frijol, corroborando un aumento en la resistencia al estrés hídrico y reducción del aborto embrionario temprano que mejora la calidad del cultivo (Mejía-Jiménez *et al.*, 1994).

Tabla 9. Estudios relacionados con efectos de frijol tépari (*P. acutifolius* Gray).

Especie de estudio	Resultados destacados	Referencia
Semillas de frijol tépari: • Fracción de lectina	Las lectinas de frijol tépari tienen efectos negativos en diferentes etapas de progresión y promoción de cáncer.	García-Gasca <i>et al.</i> , 2012
Semillas de frijol tépari / Genotipos: • PI-301-801 (Nicaragua) • G-400-35, L-242-24 y L-242-36 (México) L-172 (EUA)	Las plantas de frijol tépari presentaron mayor rendimiento y capacidad de absorción de agua. El estrés hídrico indujo la actividad de prolina y arginasa aumentando la síntesis de aminoácidos y concentración de proteína.	González de Mejía <i>et al.</i> , 2003
Semillas de frijol tépari café: • Inhibidores de proteasas	El inhibidor de tripsina de frijol tépari es estable al calor y similar a la familia de inhibidores de Bowman-Birk, además, puede ser inactivado por el calor en condiciones alcalinas.	Osman, Reid y Weber, 2002
Semillas silvestres y semillas cultivadas de frijol tépari.	Los inhibidores de frijol tépari cultivado difirieron en su especificidad hacia a-amilasa de placas de insectos como brúquidos, ninguno mostró actividad inhibidora contra a-amilasas de origen mamífero, bacteriano o fúngico, asimilándose a inhibidores de frijol común en secuencias de aminoácidos N-terminales y estructura oligomérica.	Yamada, Hattori y Ishimoto, 2001
Genotipos de frijol tépari: • G 40001 • G 40020 • G 40023 • G 440063 • G 40066 • G 40138	El retrocruzamiento de genotipos de semillas de frijol tépari con semillas de frijol común reduce el aborto embrionario temprano, la esterilidad híbrida y las frecuencias de hibridación más bajas.	Mejía-Jiménez <i>et al.</i> , 1994
Semillas de frijol tépari blanco (Cosecha 1986, México)	Las concentraciones de metionina y cisteína son bajas en fracciones proteicas extraídas con soluciones tampón de fosfato de sodio, cloruro de sodio, etanol, 2-mercaptoetanol y dodecilsulfato de sodio.	Idouraine, Yensen y Weber, 1994

El frijol tépari se ha convertido en una especie que, gracias a su material genético, adaptación a climas extremos y composición química ha llamado la atención de los investigadores. Sin embargo, actualmente se considera un cultivo limitado a zonas rurales, con escasez y falta de información actualizada que limita su consumo y producción. Además, se desconocen las propiedades funcionales de la fracción proteica de esta leguminosa, la cual podría ser empleada como un ingrediente funcional en el desarrollo de nuevos productos, así como potencializar su consumo para incorporarse en la dieta de la población mexicana como un alimento que, unido a una buena alimentación permita lograr la ingesta diaria recomendada de proteína.

Por todo lo anterior, en este trabajo de investigación se propone el análisis de las propiedades químicas y nutricionales de la fracción proteica de frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* Gray) y sus posibles beneficios.

III. HIPÓTESIS

En este trabajo de investigación no aplica la formulación de hipótesis, ya que se encuentra ante un estudio exploratorio y descriptivo. Consiste en un trabajo basado en el estudio de la semilla de frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* Gray) y sus características nutricionales y funcionales a partir de un concentrado proteico.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Determinar las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la fracción proteica del frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* Gray) del noreste de México.

4.2 Objetivos específicos

1. Extraer la fracción proteica del frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* Gray) del noreste de México.
2. Determinar las propiedades fisicoquímicas de la fracción proteica de *P. acutifolius* Gray del noreste de México.
3. Determinar la digestibilidad *in vitro* de la fracción proteica de *P. acutifolius* Gray del noreste de México.

V. METODOLOGIA

5.1 Diseño del estudio

La presente investigación es un estudio exploratorio, descriptivo, experimental.

5.1.1 Esquema general de trabajo

En la figura 5 se presenta el esquema general de análisis para las semillas de frijol tépari blanco y las determinaciones planteadas en los objetivos específicos de esta investigación.

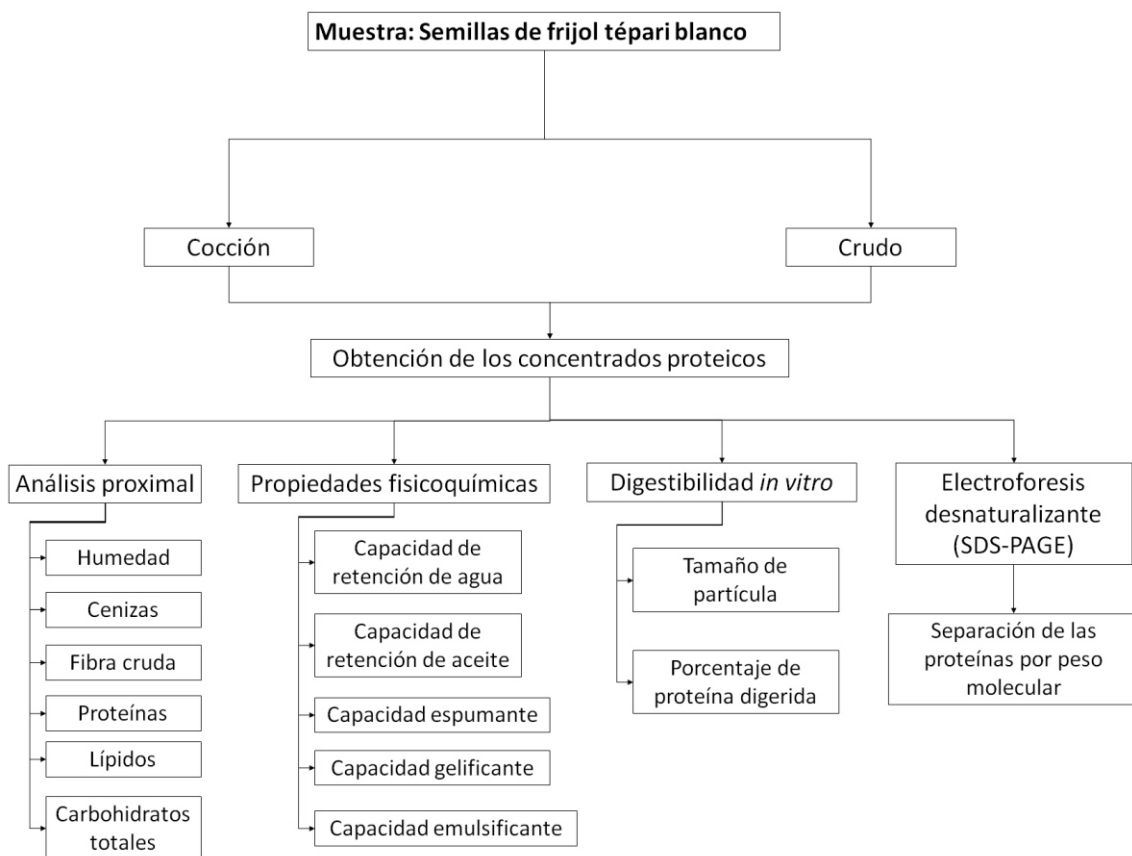


Figura 5. Esquema general de análisis.

5.1.2 Material, equipo y reactivos

Tabla 10. Material, equipo y reactivos empleados en la elaboración de la presente investigación.

Materiales	
<ul style="list-style-type: none"> • Semillas de frijol tépari blanco • Bolsas de polietileno • Vasos de precipitado • Matraces Erlenmeyer • Probetas 10, 50, 100 y 1000 mL • Tubos de plástico con tapa 15 y 50 mL. • Tubos de ensayo • Puntas para micropipeta 	<ul style="list-style-type: none"> • Tubos de ensayo con rosca • Frascos de vidrio con tapa. • Espátulas metálicas • Varillas de vidrio • Agitadores magnéticos • Crisoles de porcelana • Desecador de vidrio • Frascos de vidrio ámbar
Equipo	
<ul style="list-style-type: none"> • Homogeneizador mill-IKA universal M20 • Horno Felisa FE-292D • Extractor-Goldfish LABCONCO • Placas de calentamiento Thermo Scientific Cimarec 588850100 • Vortex Mixer Labnet S0200 • Homogeneizador dispersador IKA ® Ultra Turrax T-50 • Cámara de electroforesis vertical Mini-PROTEAN Bio-Rad ® 	<ul style="list-style-type: none"> • Liofilizadora FreeZone 4.5 • Mastersizer 3000 TM • Refrigerador (-80, -20°C) • Baño de agua caliente • Potenciómetro HANNA • Centrífuga • Mufla FE-363 • LECO FP-528
Reactivos	
<ul style="list-style-type: none"> • Pancreatina porcina Sigma-Aldrich • Bilis porcina Sigma-Aldrich • Pepsina porcina Sigma-Aldrich • Éter etílico CTR • Aceite vegetal Nutrioli ® • BenchMarkTM Protein Ladder, Thermo Fisher Scientific • Coomassie Brilliant Blue R-250 Bio-Rad • Mini Geles Teo-Tricine SDS 4-12%, RunBlueTM • Ácido acético glacial • Glycerol, grado biología molecular 	<ul style="list-style-type: none"> • HCl 0.1N • HCl 6N • NaHCO₃ 0.1M • NaHCO₃ 0.9M • NaCl 9 mg/mL (p/v) • NaOH 10% • Etanol • HCl concentrado • Metanol • NaOH 1M • HCl 1M

5.2 Procedimiento

5.2.1 Preparación de la muestra

En la figura 6, se muestra el diagrama general para la preparación de la muestra.

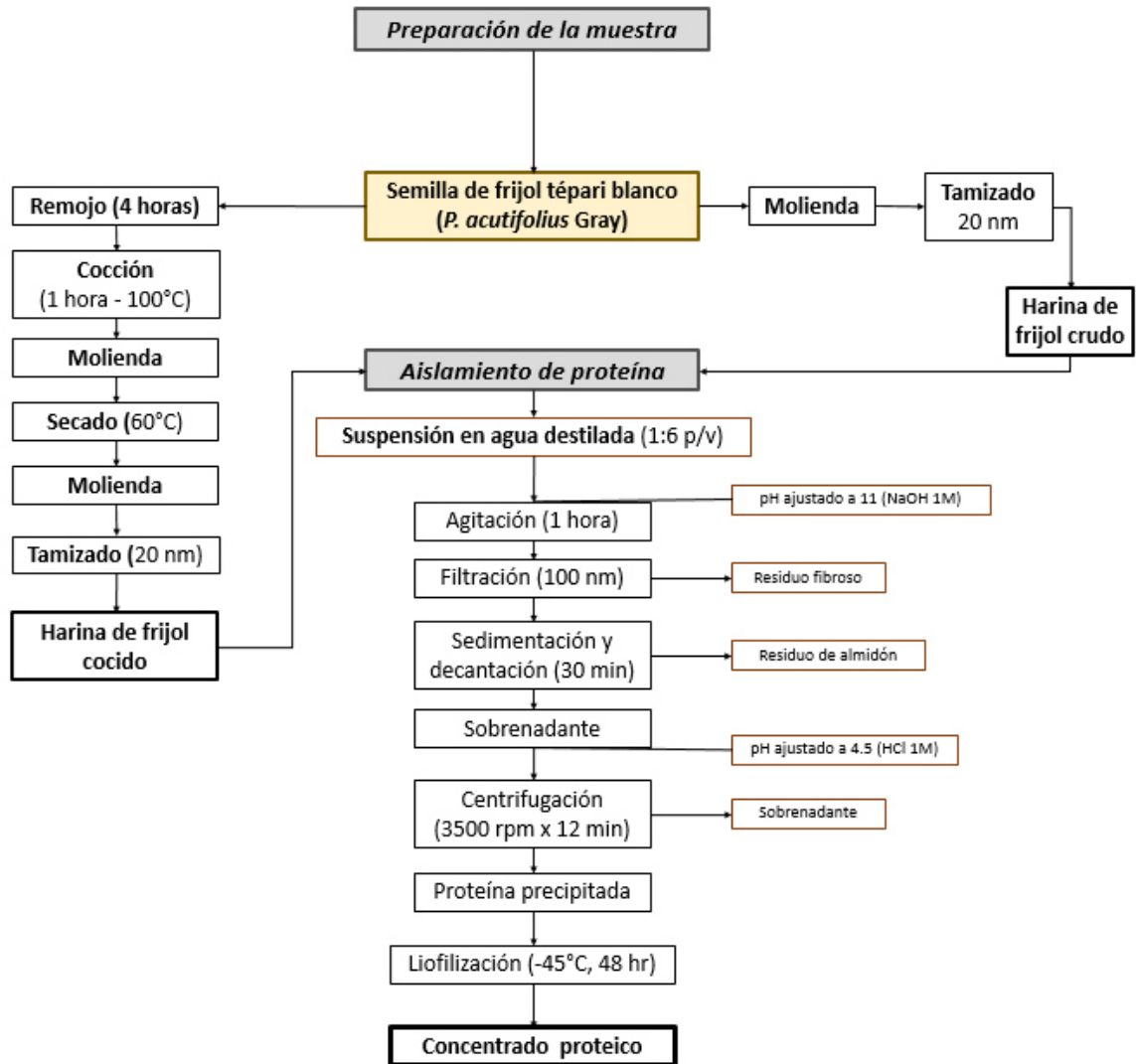


Figura 6. Diagrama de la metodología empleada para la obtención de harinas de frijol tépari cocido y crudo, así como sus respectivos concentrados proteicos, tomado de Betancur-Ancona *et al.*, 2004 (modificado).

5.2.2 Obtención de harina de frijol cocido

Para la obtención y análisis de harina de frijol cocido, 100 g de semillas de frijol tépari crudo se limpiaron y remojaron en 200 mL de agua destilada durante 4 horas. Posteriormente, fueron sometidas a un proceso de cocción a una temperatura de 100 °C durante 1 hora. Una vez cocidos, los granos y el caldo de cocción se molieron con batidora de inmersión (Oster ®) y se secaron en horno a 60 °C (Felisa, FE-292D ®). La muestra deshidratada se molió y tamizó a través de malla número 20 (abertura: 850 µm) hasta obtener un tamaño de partícula homogéneo, la muestra se almacenó al vacío en bolsas de polietileno a temperatura ambiente.

5.2.3 Obtención de harina de frijol crudo

Semillas de frijol tépari crudo fueron procesadas de acuerdo con el método propuesto por Betancur-Ancona *et al.*, (2004). Las semillas de frijol tépari crudas se procesaron en un molino (IKA ®) hasta obtener una harina fina, posteriormente se tamizó a través de una malla número 20.

5.2.4 Extracción del concentrado proteico

La extracción de proteína se llevó a cabo empleando el método de fraccionamiento húmedo propuesto por Betancur-Ancona *et al.*, (2004) donde la harina previamente tamizada se suspendió en agua destilada a una concentración 1:6 (p/v), se añadió NaOH (1M) hasta que se ajustó el pH a once, posteriormente, la muestra se mantuvo en agitación constante durante 1 hora. Después de la agitación, la suspensión se filtró a través de mallas número 80 y 100 (abertura: 180 µm y 150 µm, respectivamente), de esta manera la fracción de fibra y almidón fue separada. La suspensión restante se ajustó a un pH de 4.5 con HCl (1M) y se centrifugó durante 12 minutos a 3500 rpm, el líquido se

desechó y el precipitado se liofilizó bajo condiciones de -45 °C durante 48 horas.

5.2.5 Rendimiento del proceso de extracción de proteína

El rendimiento de extracción de proteína de las semillas de frijol tépari, antes y después del proceso de cocción, se realizó por diferencia empleando la siguiente ecuación:

$$R = \frac{H}{E} \times 100$$

Donde:

R= Rendimiento de extracción de proteína (%)

H= Gramos de harina de frijol

E= Gramos de proteína extraída

5.3 Análisis proximal de harinas y concentrados de frijol tépari

El análisis proximal de las muestras se realizó de acuerdo con los métodos oficiales de la Asociación de Comunidades Analíticas (AOAC por sus siglas en inglés). El contenido de carbohidratos (extracto libre de nitrógeno) fue obtenido por diferencia.

5.3.1 Determinación de humedad (AOAC 14.003)

El contenido de humedad se determinó utilizando el método gravimétrico basado en el secado de la muestra en un horno marca Felisa (FE-292D) a 100°C y la diferencia de peso entre el material seco y húmedo (AOAC, 1990).

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = ((A - B) / (A - C)) \times 100$$

Donde:

A: masa de la cápsula con muestra antes del secado, en gramos.

B: masa de la cápsula con la muestra desecada, en gramos.

C: masa de la cápsula vacía, en gramos.

5.3.2 Determinación de Cenizas (AOAC 14.006)

Se utilizó el método de calcinación empleando una mufla marca Felisa (FE-363) a 500 °C, de acuerdo con la siguiente ecuación se calculó el porcentaje de cenizas (AOAC, 1990):

$$\% \text{ cenizas} = \frac{CC - C}{w} \times 100$$

Donde:

CC = peso inicial del crisol con muestra.

C = peso final de la muestra.

w = peso de la muestra.

5.3.3 Determinación de proteínas (AOAC 968.06)

La determinación del contenido de proteína se realizó mediante el método de Dumas utilizando el equipo LECO (FP-528). A partir de la combustión de la muestra en presencia de oxígeno (O₂) a 950 °C, la muestra se descompuso en gases y cenizas. Los gases resultantes de la combustión fueron arrastrados por el flujo de oxígeno y desplazados posteriormente por Helio (He) para eliminar los gases interferentes (Oxígeno libre, dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O)). Luego de eliminar los gases interferentes, el gas llegó a la celda de medición de Nitrógeno (N₂) que determina el contenido de N₂ y lo multiplica por el factor de conversión de proteína 6.25 (AOAC, 2005).

5.3.4 Determinación de lípidos (AOAC 7.056)

El contenido de lípidos se determinó con el método de Goldfish. Se utilizó éter etílico como disolvente y el extractor Goldfish de la marca LABCONCO modelo 35001, la muestra se mantuvo en reflujo constante hasta el término del proceso, posteriormente el disolvente y el extracto se separó por destilación. Los vasos con extracto se secaron en estufa a 100 °C, y 24 horas después se pesaron para determinar la cantidad de lípidos contenida en la muestra (AOAC, 1980).

5.3.5 Determinación de fibra cruda (AOAC 962.09)

La fibra cruda contenida en las muestras se calculó mediante la pérdida de masa después de la incineración del residuo orgánico que queda al finalizar la etapa de digestión, en la cual se utilizó soluciones de ácido sulfúrico (H_2SO_4 , 0.255 N) e hidróxido de sodio (NaOH, 0.313 N) (AOAC, 1990).

5.3.6 Carbohidratos totales

El contenido de carbohidratos (extracto libre de nitrógeno) fue obtenido por diferencia, tal como se muestra en la siguiente ecuación (FAO, 1993):

$$\text{Extracto libre de nitrógeno (\%)} = 100 - (A+B+C+D+E)$$

Donde:

A = Contenido de humedad (%)

B = Contenido de proteína cruda (%)

C = Contenido de lípidos crudos (%)

D = Contenido de fibra cruda (%)

E = Contenido de cenizas (%)

5.4 Propiedades fisicoquímicas

5.4.1 Capacidad de absorción de agua

La capacidad de absorción de agua (WAC, por sus siglas en inglés) se evaluó a temperatura ambiente (25 °C) siguiendo el método descrito por Beuchat (1977). Se pesó 1 g de muestra en 10 mL de agua destilada y se agitó en vortex (Labnet S0200) durante 30 segundos. Posteriormente la mezcla fue centrifugada a 5000 *g* por 30 min, el sobrenadante se midió en una probeta de 10 mL. Los resultados fueron expresados como gramos de agua retenida por gramo de muestra.

5.4.2 Capacidad de absorción de aceite

Se midió la capacidad de absorción de aceite (OAC, por sus siglas en inglés) a temperatura ambiente (25 °C) con el método propuesto por Beuchat (1977). Un gramo de muestra se agitó en vortex (Labnet S0200) durante 30 segundos junto a 10 mL de aceite vegetal comestible de soya, marca comercial. Por último, se centrifugó a 5000 *g* por 30 min. Los resultados fueron expresados como gramos de aceite retenidos por gramo de muestra.

5.4.3 Capacidad espumante

La capacidad espumante se determinó con el método de Bencini (1986) y algunas modificaciones. Con ayuda de un homogeneizador (IKA® T-50) se mezcló 1 g de muestra y 50 mL de agua destilada dentro de una probeta de 100 mL durante 5 minutos. Se midió el volumen inicial de la muestra y después de 60 minutos se midió la estabilidad. La capacidad espumante se expresó en mL de espuma por 100 mL de muestra.

5.4.4 Capacidad gelificante

La capacidad gelificante de las muestras se determinó siguiendo la metodología empleada por Chau y Cheung (1997). En tubos de vidrio con tapa, se preparó la suspensión de la muestra en agua destilada a una concentración de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16% (p/v). Los tubos se colocaron en un baño de agua a 100 °C durante 1 hora y posteriormente se dejaron enfriar a 4 °C por 2 horas. Los resultados se tomaron al invertir los tubos y se registró como gelificación completa (la muestra no cae o desliza por las paredes del tubo, se expresa con el símbolo “+”), no hay gelificación (la muestra cae o desliza por las paredes del tubo, se expresa con el símbolo “-”) y gelificación parcial (se muestran gotas rotas o irregulares, se expresa con el símbolo “±”).

5.4.5 Capacidad emulsionante

Se empleó el método propuesto por Yasumatso *et al.*, (1972) para evaluar la capacidad emulsionante de las muestras, se utilizó agitación en vortex (Labnet S0200) durante 15 s para mezclar en un tubo graduado de 50 mL (Falcon ®), 1 g de muestra con 20 mL de agua destilada. Posteriormente se ajustó el pH a 7 con NaOH (0.1 N) y HCl (0.1 N), la muestra se llevó a un volumen de 25 mL con agua destilada, se añadió 25 mL de aceite vegetal comestible de soya, marca comercial y se agitó durante 3 min con homogeneizador (IKA® T-50), se centrifugó a 1300 rpm por 5 minutos. La emulsión fue expresada en términos de porcentaje, como la altura de la capa emulsionada con respecto al total del líquido.

5.5 Digestibilidad *in vitro* de harinas y concentrados proteicos de frijol tépari

La simulación de la digestión gastrointestinal humana se realizó de manera *in vitro* de acuerdo con el método propuesto por Shim *et al.*, (2010) con

modificaciones de Guangliang *et al.*, (2017). Para preparar la muestra se pesaron 10 g y con agua destilada se llevó a un volumen total de 100 mL. Las etapas gástrica e intestinal se realizaron secuencialmente colocando la muestra en frascos de vidrio ámbar y posteriormente en baño de agua con agitación a 37 °C. Para iniciar la fase gástrica se añadieron 432 mg de pepsina porcina (Sigma-Aldrich®) disueltos en 2.7 mL de HCl (0.1N) y se ajustó el pH a 2.0. Después de 60 minutos se comenzó la fase intestinal añadiendo 40 mg de pancreatina porcina (Sigma-Aldrich®) más 250 mg de bilis porcina (Sigma-Aldrich®) disueltos en 10 mL de NaHCO₃ (0.1N), ajustando el pH a 7.0 y manteniendo agitación constante durante 120 minutos. El pH se modificó con la adición de HCl o NaOH (1M), durante la digestión se tomaron alícuotas de la siguiente manera: antes de la digestión (tiempo 0), después de 1, 5, 30 y 60 minutos de fase gástrica; y después de 1, 5, 30 y 120 minutos de fase intestinal (Figura 7). Las muestras se mantuvieron congeladas a -20 °C hasta su uso.

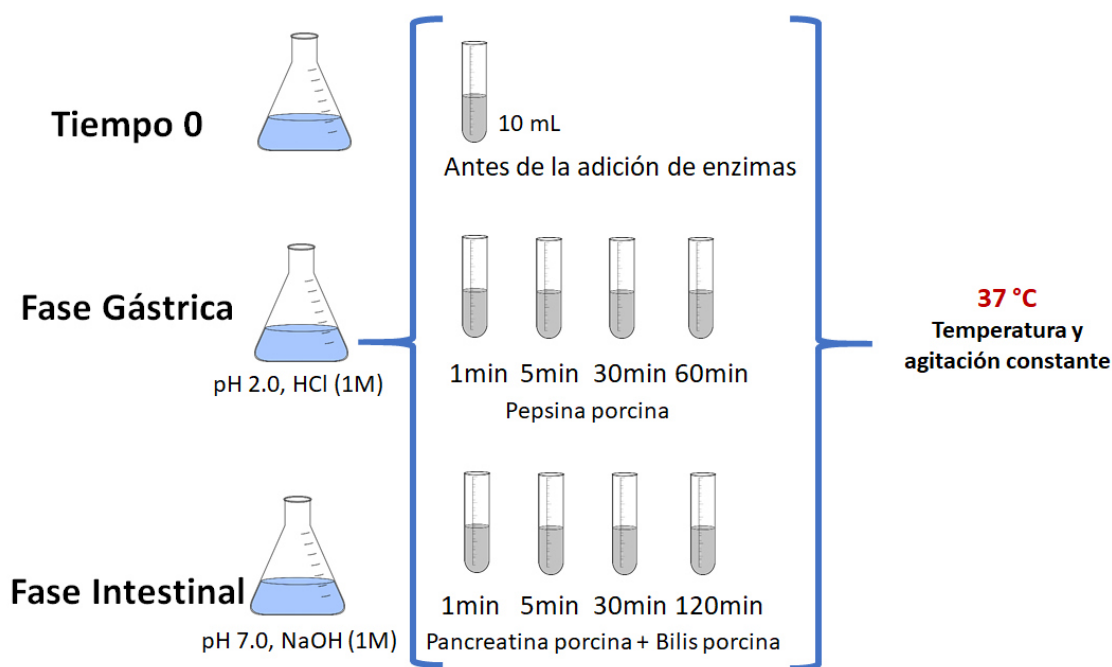


Figura 7. Proceso de simulación de digestión gastrointestinal *in vitro*.

5.5.1 Determinación del porcentaje de proteína digerida

La determinación del contenido de proteína se realizó mediante el método de Dumas, tal como se describió anteriormente. El porcentaje de proteína digerida fue calculado por diferencia, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$PD = 100 - \frac{\% P1 \times 100}{\% P0}$$

Donde:

PD= Proteína digerida

P1= Porcentaje de proteína de la muestra después de la fase intestinal

P0= Porcentaje de proteína de la muestra en el tiempo 0

5.5.2 Determinación de tamaño de partícula

El tamaño de partícula de las muestras durante la digestión se midió con un instrumento de dispersión de luz láser (Mastersizer 3000, Malvern Southborough, MA) y un valor de 1.33 como índice de refracción. Los valores de tamaño de partícula se expresaron como diámetro medio sensible a la presencia de partículas grandes ponderado en volumen (μm) (D [4,3]) y tamaño en micras (μm) del 90% de las partículas totales (Dv [90]).

5.6 Electroforesis desnaturalizante (SDS-PAGE)

La proteína total de los concentrados proteicos de frijol tépari crudo y cocido se analizó mediante electroforesis desnaturalizante en geles de poliacrilamida (SDS-PAGE). Siguiendo el método propuesto por Laemmli (1970) con algunas modificaciones de Camacho Espinoza y colaboradores (2010): 10 mg de cada muestra se disolvió en 1 mL de solución de dodecilsulfato sódico (SDS - 1%

p/v). Como marcador de peso molecular se emplearon 5 µL de BenchMark Protein Ladder. Las proteínas se separaron en una cámara de electroforesis vertical Mini-PROTEAN (Bio-rad®) en Mini Geles Teo-Tricine SDS 4-12%, (RunBlue™) por 2:00 horas, a 80 V (1 hora) y 100 V (1 hora). Las proteínas separadas se tiñeron con solución de tinción (azul de Coomassie R-250 (0.1%), metanol 40%, ácido acético glacial 10%) y agitación suave durante 2:30 horas, después se destiñó con una solución de metanol (40%). Las imágenes fueron fotodocumentadas y analizadas.

5.7 Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados mediante estadística descriptiva, utilizando medidas de tendencia central como media y medidas de dispersión como desviación estándar.

Para el análisis descriptivo, se utilizó el software IBM SPSS Statistics versión 27.0. Los resultados de las muestras de frijol tépari crudo y frijol tépari cocido (harina y concentrado proteico) fueron evaluadas mediante análisis de varianza (ANOVA) de un factor con valor de significancia de 0.05, comprobando el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homocedasticidad y aleatoriedad de muestras independientes. Se evaluaron las medias utilizando la prueba post-hoc de Tukey de las mínimas diferencias significativas para comparaciones múltiples, determinando como significativo aquellos valores con $p\text{-valor} \leq 0.05$.

VI. RESULTADOS

6.1 Análisis proximal de harinas y concentrados de frijol tépari

6.1.1 Harinas de frijol tépari

La composición proximal de las semillas de frijol tépari en base seca, antes y después del proceso de cocción, se muestra en la tabla 11. Se puede observar que no existe diferencia estadística significativa ($p>0.05$) entre muestras en los parámetros: ceniza, proteína, lípidos, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno. Sin embargo, en el porcentaje de humedad sí existe diferencia significativa ($p<0.05$).

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación para frijol tépari, 100 g de frijol cocido aportan 367.77 Kcal, de los cuales: 21.14 g de proteína (4.22% del VCT, 1.09 g de lípidos (0.49% del VCT) y 68.35 g de hidratos de carbono (13.67% del VCT), lo que corresponde al 18.38% basado en una ingesta de 2000 kcal/día.

A pesar de que el frijol no se consume sin cocción previa, el análisis proximal de 100 g de semillas de frijol tépari crudo mostraron un aporte de 360.85 Kcal, de los cuales: 19.94 g de proteína (3.98% del VCT), 1.89 g de lípidos (0.85% del VCT) y 66.02 g de hidratos de carbono (13.20% del VCT), con un aporte total de 18.03% basado en una ingesta de 2000 kcal/día.

Tabla 11. Composición proximal de las harinas de frijol tépari.

Componente	Tépari crudo	Tépari cocido
Humedad (%)	5.78 ± 0.18 ^a	3.9 ± 0.78 ^b
Ceniza (%)	3.4 ± 0.08 ^a	3.23 ± 0.14 ^a
Proteína (%)	19.94 ± 0.06 ^a	21.14 ± 0.04 ^a
Lípidos (%)	1.89 ± 0.79 ^a	1.09 ± 0.02 ^a
Fibra cruda (%)	2.96 ± 0.70 ^a	2.44 ± 0.36 ^a
ELN (%)	66.02 ± 0.04 ^a	68.35 ± 1.10 ^a
Energía (Kcal)	360.85 ± 0.88 ^a	367.77 ± 1.16 ^a

Composición en base seca

Valores expresados como media ± desviación estándar (n=3)

ELN calculado por diferencia: 100 – (proteína + grasa + fibra + ceniza + humedad)

^{a-b} Superíndices diferentes en la misma fila indican diferencia significativa (p<0.05).

6.1.2 Rendimiento del proceso de extracción de proteína

El rendimiento de extracción de proteína de las semillas de frijol tépari, antes y después del proceso de cocción, se muestran en la tabla 12.

Se realizaron 2 lotes con el fin de escalar y conocer el rendimiento de la técnica de extracción. La fracción proteica obtenida a partir del Lote 1, tuvo porcentajes de proteína total de 68.21% para frijol crudo y 49.04% para frijol cocido. Mientras que los concentrados de harina del Lote 2, fueron 65.19% para frijol crudo y 48.55 % para frijol cocido.

El aumento en el rendimiento del porcentaje de proteína extraída empleando mayor cantidad de materia prima se aproxima al 100%, con respecto a aquellas donde se utilizó menor cantidad (Lote 1 con respecto a Lote 2).

Tabla 12. Porcentaje de proteína de los concentrados de frijol tépari

Muestra	Muestra inicial[*] (g)	Muestra final^{**} (g)	Proteína^{***} (%)	Rendimiento (%)
(Lote 1) Tépari crudo	100.00±0.00	5.31±0.32	68.21±2.49	5.31±0.32
(Lote 2) Tépari crudo	500.00±0.27	58.66±2.07	65.19±1.17	11.73±0.41
(Lote 1) Tépari cocido	100.00±0.00	1.42±0.15	49.04±0.22	1.42±0.15
(Lote 2) Tépari cocido	500.00±2.25	13.50±0.97	48.55±0.36	2.70±0.20

Valores expresados como media ± desviación estándar (n=2)

* Gramos de harina de frijol

** Gramos de proteína extraída

*** Porcentaje de proteína de la muestra final

6.1.3 Concentrados proteicos

La tabla 13 muestra los resultados del análisis proximal de los concentrados proteicos de semillas de frijol tépari crudas y cocidas. Los porcentajes de proteína, ceniza, lípidos y ELN de las muestras, indica que existe diferencia estadística significativa entre tratamientos ($p<0.05$). Por otro lado, el porcentaje de humedad se mantiene sin diferencia significativa ($p>0.05$).

El aporte calórico por cada 100 g de concentrado proteico cocido es de 425.53 Kcal, y 414.08 Kcal para concentrado proteico de frijol tépari crudo.

Tabla 13. Composición proximal de los concentrados proteicos de frijol tépari.

Componente	Concentrado crudo	Concentrado cocido
Humedad (%)	0.13 ± 0.05 ^a	0.09 ± 0.01 ^a
Ceniza (%)	2.86 ± 0.10 ^a	6.07 ± 0.07 ^b
Proteína (%)	68.21 ± 0.44 ^b	49.04 ± 0.14 ^a
Lípidos (%)	5.12 ± 0.03 ^a	9.97 ± 0.29 ^b
Fibra cruda (%)	<2 [*]	<2 [*]
ELN (%)	23.79 ± 0.52 ^a	34.91 ± 0.22 ^b

Composición en base seca

Valores expresados como media ± desviación estándar (n=3)

*Valores por debajo del límite de cuantificación

ELN calculado por diferencia: 100 – (proteína + grasa + fibra + ceniza + humedad)

^{a-b} Superíndices diferentes en la misma fila indican diferencia significativa (p<0.05)

6.2 Propiedades fisicoquímicas

Los resultados de las pruebas de capacidad de absorción de agua y aceite, capacidad emulsionante y capacidad espumante de las harinas y concentrados de frijol tépari a temperatura ambiente y pH neutro en muestras crudas y cocidas se presentan en la Tabla 14. En la prueba de capacidad de absorción de agua, los concentrados proteicos no mostraron diferencia significativa entre tratamientos (p>0.05), a su vez, las harinas de frijol tépari tampoco tuvieron diferencia significativa entre sí (p>0.05).

La capacidad de absorción de aceite del concentrado proteico cocido fue mayor al resto de las muestras y mostró diferencia significativa (p<0.05) con respecto al concentrado proteico crudo, por otro lado, las harinas de frijol tépari, no presentaron diferencia significativa entre tratamientos (p>0.05).

En cuanto a la capacidad emulsionante, harina y concentrado de frijol crudo fue mayor y no presentó diferencia significativa ($p>0.05$) en comparación con las de frijol cocido, en la cual existe diferencia significativa ($p<0.05$) entre harina y concentrado.

Los resultados de capacidad espumante no presentaron diferencia estadística significativa ($p>0.05$), ya que fueron igual para todas las muestras analizadas.

Los resultados de las pruebas de gelificación se muestran en la tabla 15. El concentrado cocido presentó gelificación completa a partir de una concentración de 2 %, seguida de concentrado crudo con 8 % y 12 % para frijol tépari cocido. El frijol tépari crudo presentó gelificación parcial a partir de una concentración de 6 %.

Tabla 14. Propiedades fisicoquímicas de harinas y concentrados de frijol tépari.

Muestra	Pruebas fisicoquímicas			
	Capacidad de absorción de agua (g/g muestra)	Capacidad de absorción de aceite (g/g muestra)	Capacidad emulsionante (mL/100 mL)	Capacidad espumante (mL/100 mL)
Concentrado crudo	1.40 ± 0.00^a	1.46 ± 0.20^b	94.66 ± 9.23^c	0.50 ± 0.50^a
Concentrado cocido	1.46 ± 0.11^a	1.80 ± 0.40^c	68.03 ± 4.05^b	0.50 ± 0.50^a
Harina cruda	2.40 ± 0.20^b	1.26 ± 0.40^a	100 ± 0.00^c	0.50 ± 0.50^a
Harina cocida	2.40 ± 0.20^b	1.20 ± 0.00^a	49.33 ± 6.42^a	0.50 ± 0.50^a

Valores expresados como media \pm desviación estándar ($n=3$)

^{a-c} Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p<0.05$).

Tabla 15. Resultados de gelificación de harinas y concentrados proteicos de frijol tépari crudo y cocido.

Muestra	Concentración de la muestra (% m/v)							
	2	4	6	8	10	12	14	16
Concentrado crudo	±	±	±	+	+	+	+	+
Concentrado cocido	+	+	+	+	+	+	+	+
Harina cruda	-	-	±	±	±	±	±	±
Harina cocida	±	±	±	±	±	+	+	+

(-) No hay gelificación, (+) Gelificación completa, (±) Gelificación parcial. (n=3)

6.3 Digestibilidad *In vitro* de harinas y concentrados

El resultado de las pruebas de digestibilidad *In vitro* se muestra en las tablas 16, 17, 18 y 19.

Antes de iniciar el proceso de digestión (tiempo 0) todas las muestras presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$) en el tamaño de partícula, el cual se expresa como volumen en micras (μm). Al término de la fase gástrica (60 minutos), el tamaño de partícula de los concentrados y harina cocida disminuyó significativamente ($p < 0.05$). Al finalizar la fase intestinal (120 minutos) el comportamiento de las muestras fue similar al de la fase gástrica y el tamaño de partícula disminuyó significativamente ($p < 0.05$) en comparación con el tiempo 0, sin embargo, la harina cruda aumento su volumen. Cabe mencionar que, al finalizar la fase intestinal, no hubo diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) en el tamaño de partícula de los concentrados (crudo y cocido) pero sí con respecto a las harinas (Figura 8).

El porcentaje del tamaño de partícula de la muestra presentó un comportamiento similar al volumen, donde al finalizar la fase gástrica (60 minutos) existe un aumento significativo ($p < 0.05$) en el tamaño de partícula de

harina cruda y reducción de tamaño en concentrados y harina tratada térmicamente. Al finalizar la fase intestinal los concentrados y la harina cocida aumentaron de manera significativa ($p<0.05$) el porcentaje de partículas de menor tamaño en comparación con el tiempo 0 (Figura 9).

El porcentaje de proteína digerida del concentrado cocido aumentó significativamente ($p<0.05$) (Tabla 20) en comparación con el concentrado de frijol tépari crudo.

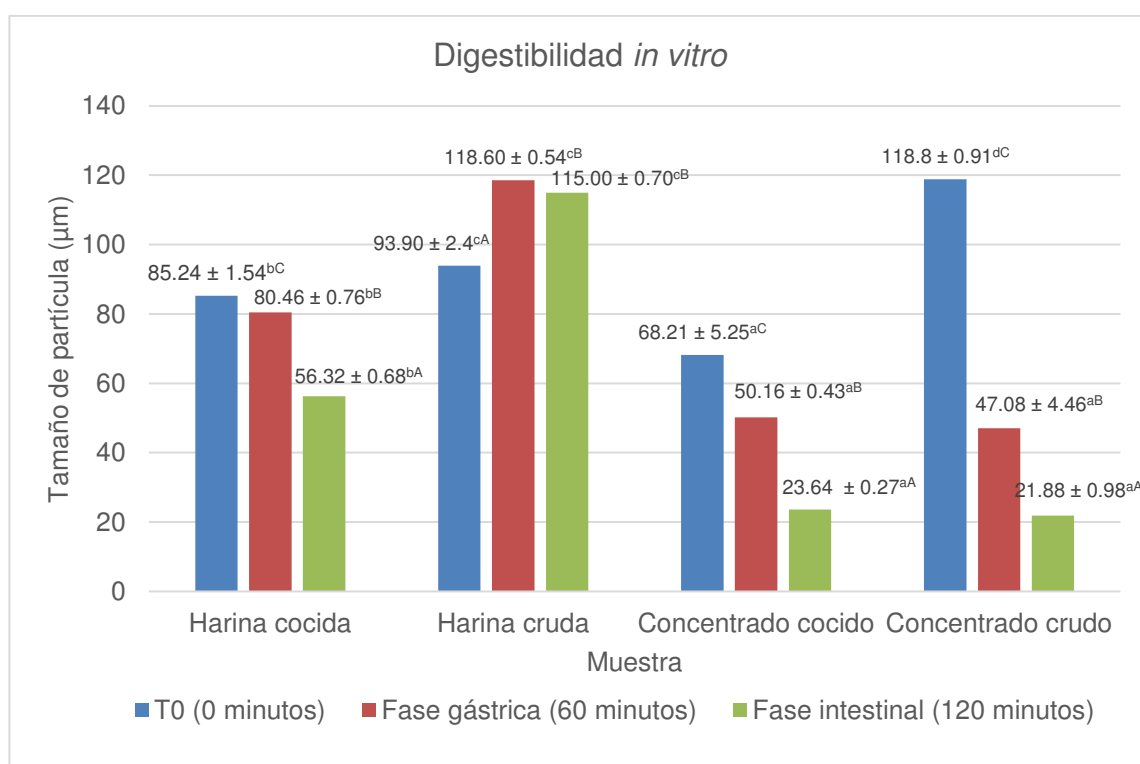


Figura 8. Cinética de digestibilidad *in vitro* de harinas y concentrados proteicos de frijol tépari. Tamaño de partícula en micras (μm) de las muestras durante el proceso gastrointestinal.

Valores expresados como volumen en micras (μm), media \pm desviación estándar ($n=10$)

^{a-c} Superíndices diferentes indican diferencia estadística significativa ($p<0.05$).

^{A-C} Superíndices diferentes indican diferencia estadística significativa ($p<0.05$).

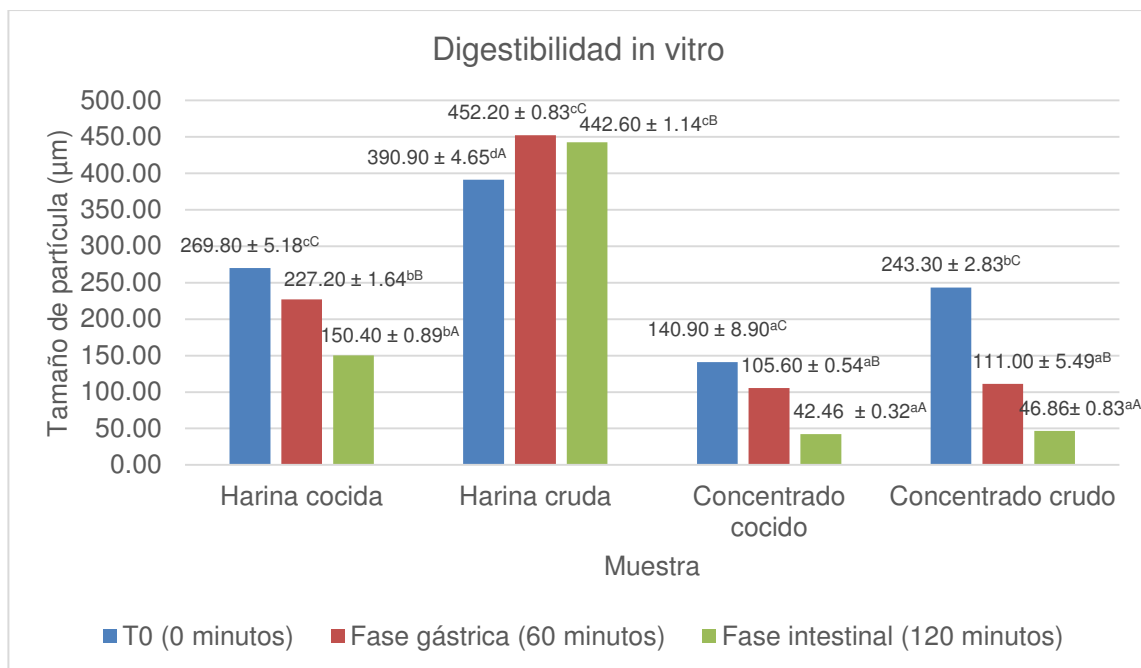


Figura 9. Cinética de digestibilidad *in vitro* de harinas y concentrados proteicos de frijol tépari. Tamaño en micras (μm) del 90% de las partículas totales durante el proceso gastrointestinal.

Valores expresados como volumen en micras (μm), media \pm desviación estándar ($n=10$)

^{a-c} Superíndices diferentes indican diferencia estadística significativa ($p<0.05$).

^{A-C} Superíndices diferentes indican diferencia estadística significativa ($p<0.05$).

Tabla 16. Tamaño de partícula en micras (μm) de las muestras durante la fase gástrica.

Muestra	Fase gástrica				
	Tiempo (minutos)				
	0	1	5	30	60
Harina cocida	$85.24 \pm 1.54^{\text{bD}}$	$91.52 \pm 0.87^{\text{dD}}$	$89.00 \pm 4.18^{\text{dD}}$	$75.82 \pm 0.53^{\text{dC}}$	$80.46 \pm 0.76^{\text{bC}}$
Harina cruda	$93.90 \pm 2.4^{\text{cB}}$	$85.18 \pm 1.31^{\text{cA}}$	$78.11 \pm 3.83^{\text{cA}}$	$130.60 \pm 1.51^{\text{cD}}$	$118.60 \pm 0.54^{\text{cC}}$
Concentrado cocido	$68.21 \pm 5.25^{\text{aD}}$	$64.62 \pm 1.16^{\text{bD}}$	$59.78 \pm 3.03^{\text{bCD}}$	$57.66 \pm 0.87^{\text{bC}}$	$50.16 \pm 0.43^{\text{aC}}$
Concentrado crudo	$118.80 \pm 0.91^{\text{dG}}$	$5.79 \pm 0.09^{\text{aA}}$	$7.81 \pm 0.54^{\text{aA}}$	$32.24 \pm 0.86^{\text{aE}}$	$47.08 \pm 4.46^{\text{aF}}$

Valores expresados como volumen en micras (μm), media \pm desviación estándar (n=10)

^{a-d} Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

^{A-G} Superíndices diferentes en la misma fila indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

Tabla 17. Tamaño de partícula en micras (μm) de las muestras durante la fase intestinal.

Muestra	Fase intestinal			
	Tiempo (minutos)			
	1	5	30	120
Harina cocida	63.32 ± 0.93^{bB}	61.32 ± 0.86^{cAB}	55.98 ± 0.43^{cA}	56.32 ± 0.68^{bA}
Harina cruda	87.04 ± 1.22^{dAB}	123.80 ± 2.16^{dD}	123.60 ± 2.19^{dD}	115.00 ± 0.70^{cC}
Concentrado cocido	36.00 ± 0.25^{aB}	36.42 ± 0.48^{bB}	36.74 ± 0.35^{bB}	23.64 ± 0.27^{aA}
Concentrado crudo	10.82 ± 0.53^{aB}	22.56 ± 1.02^{aD}	17.4 ± 0.67^{aC}	21.88 ± 0.98^{aD}

Valores expresados como volumen en micras (μm), media \pm desviación estándar (n=10)

^{a-d} Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa (p<0.05).

^{A-D} Superíndices diferentes en la misma fila indican diferencia estadística significativa (p<0.05).

Tabla 18. Tamaño en micras (μm) del 90% de las partículas totales durante la fase gástrica.

Muestra	Fase gástrica				
	Tiempo (minutos)				
	0	1	5	30	60
Harina cocida	$269.80 \pm 5.18^{\text{cE}}$	$296.80 \pm 0.83^{\text{dF}}$	$286.20 \pm 9.80^{\text{dF}}$	$221.00 \pm 1.58^{\text{cD}}$	$227.20 \pm 1.64^{\text{bD}}$
Harina cruda	$390.90 \pm 4.65^{\text{dD}}$	$355.80 \pm 1.92^{\text{cB}}$	$328.30 \pm 12.84^{\text{cA}}$	$481.80 \pm 1.30^{\text{dH}}$	$452.20 \pm 0.83^{\text{cF}}$
Concentrado cocido	$140.90 \pm 8.90^{\text{aH}}$	$129.40 \pm 2.07^{\text{bG}}$	$122.30 \pm 4.78^{\text{bF}}$	$118.60 \pm 1.34^{\text{bF}}$	$105.60 \pm 0.54^{\text{aE}}$
Concentrado crudo	$243.30 \pm 2.83^{\text{bG}}$	$7.40 \pm 0.16^{\text{aA}}$	$21.78 \pm 2.16^{\text{aB}}$	$92.02 \pm 1.41^{\text{aE}}$	$111.00 \pm 5.49^{\text{aF}}$

Valores expresados como volumen en micras (μm), media \pm desviación estándar (n=10)

^{a-d} Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

^{A-G} Superíndices diferentes en la misma fila indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

Tabla 19. Tamaño en micras (μm) del 90% de las partículas totales durante la fase intestinal

Muestra	Fase intestinal			
	Tiempo (minutos)			
	1	5	30	120
Harina cocida	172.00 ± 1.22^{bC}	176.60 ± 0.54^{cC}	162.40 ± 1.81^{cB}	150.40 ± 0.89^{bA}
Harina cruda	364.00 ± 1.00^{cC}	478.40 ± 1.51^{dG}	473.20 ± 2.68^{dG}	442.60 ± 1.14^{cE}
Concentrado cocido	77.12 ± 0.54^{aD}	68.10 ± 0.62^{bC}	50.44 ± 0.36^{bB}	42.46 ± 0.32^{aA}
Concentrado crudo	21.04 ± 0.62^{aB}	54.62 ± 0.83^{aD}	59.46 ± 1.15^{aD}	46.86 ± 0.83^{aC}

Valores expresados como volumen en micras (μm), media \pm desviación estándar (n=10)

^{a-d} Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa (p<0.05).

^{A-G} Superíndices diferentes en la misma fila indican diferencia estadística significativa (p<0.05).

Tabla 20. Porcentaje de proteína digerida en concentrados de frijol tépari

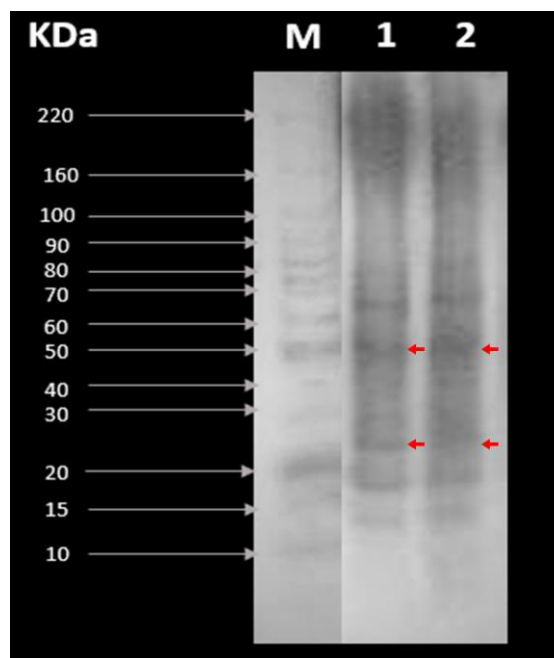
Muestra	Digestibilidad (%)
Concentrado proteico de frijol cocido	63.61 ± 4.19^a
Concentrado proteico de frijol crudo	49.8 ± 0.80^b

Valores expresados como media \pm desviación estándar (n=3)

6.4 Electroforesis desnaturalizante (SDS-PAGE)

En la figura 10 se muestran las proteínas de los concentrados de frijol tépari, separadas por peso molecular en presencia de SDS. Se observó que las proteínas predominantes son las de peso molecular de 50 kDa y las que se encuentran entre 20-30 kDa. Además, se observaron bandas más pequeñas a 15, 20, 70 y 80 kDa. Ambas muestras presentaron patrones electroforéticos y comportamiento similar a concentraciones de 5 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ de proteína.

Figura 10. Electroforesis SDS-PAGE de concentrados proteicos de frijol tépari. M, Marcador de Peso Molecular. Carril 1: Concentrado proteico de frijol tépari crudo, carril 2: Concentrado proteico de frijol tépari cocido. 5 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ de proteína en cada carril.



VII. DISCUSIÓN

7.1 Análisis proximal de harinas y concentrados de frijol tépari

El análisis proximal de este estudio fue realizado en semillas de frijol tépari blanco cultivadas en el estado de Nuevo León, antes y después de someterse a cocción (Tabla 11). Las harinas mostraron valores similares a los reportados por Idouraine *et al.*, (1995) para distintas variedades de frijol tépari que crecieron en el suroeste de Estados Unidos de América y en el norte de México, con un porcentaje promedio de proteína de 21.47%.

El porcentaje de proteína (19.94 ± 0.06 – $21.14 \pm 0.04\%$) y el resto de los parámetros evaluados (humedad, lípidos, cenizas y fibra cruda) en este estudio, se encuentra en el rango general para las legumbres y otras variedades de frijol, según lo reportado por la Fundación Española de la Nutrición (Enjamio-Perales *et al.*, 2017). En otros estudios, se observó mayor porcentaje de ceniza en chícharo (*Pisum sativum*) (3.48%) (Sadiq Butt y Batool, 2010) y *Phaseolus lunatus* (3.40%) (Chel-Guerrero *et al.*, 2002), así como semillas de garbanzo (*Cicer arietinum*) (2.2%) con valores por debajo a lo reportado para frijol tépari blanco. Sin embargo, el porcentaje de fibra (6.41%) de semillas de diferentes variedades de frijol tépari reportadas por Idouraine *et al.* (1994) fue mayor. Esto se debe a que el tipo de fibra analizada por Idouraine *et al.*, (1994) fue determinada por el método ácido detergente, en la cual se estima la cantidad de celulosa y lignina, y en la presente investigación el análisis se realizó para fibra cruda, donde gran parte de hemicelulosa y lignina fue disuelta junto con toda la fibra soluble, dejando únicamente un porcentaje de fibra insoluble. Así mismo, Idouraine *et al.*, (1994), reportaron valores de fibra insoluble para distintas variedades de frijol tépari de 18.20% y en otros estudios donde se evaluó fibra cruda de *P. lunatus* se encontraron porcentajes de 5.10% (Chel-Guerrero *et al.*, 2002).

De acuerdo con la información del Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes (2014), el frijol tépari (crudo y cocido) posee un contenido de proteína, lípidos y carbohidratos similar al de frijol promedio crudo (21.7%, 1.42%, 62.28%, respectivamente). El contenido energético de frijol promedio crudo es menor al de tépari cocido (367.77 kcal) y mayor al de tépari crudo (326.83 Kcal), esto con respecto a las 340 kcal que proporcionan 100 gramos de semillas. El frijol promedio cocido se encuentra por debajo de los valores de frijol tépari en los parámetros: proteína, carbohidratos y lípidos, lo que repercute directamente en el contenido energético, así mismo, la variedad de frijol y tipo de leguminosa son factores determinantes que establecen diferencias en los valores de composición proximal (Pérez Lizaur *et al.*, 2014; U.S. Department of Health and Human Services and U.S. Department of Agriculture, 2015).

Por otro lado, el porcentaje de proteína del concentrado crudo fue similar al reportado por Betancur-Ancona *et al.*, (2004) para *Phaseolus lunatus* (68.21% y 71.13%, respectivamente). Mientras que el porcentaje de proteína del concentrado cocido fue menor ($49.04 \pm 0.14\%$), esto se debe a que el proceso de cocción modifica la materia prima y dificulta la separación de proteína con el método de fraccionamiento húmedo. Cabe mencionar que el medio de extracción influye en la sedimentación y en la velocidad de precipitación, por lo tanto, el contenido total de proteína de los concentrados proteicos con y sin tratamiento térmico puede diferir, tomando en cuenta que la temperatura es una variable que influye en la desnaturalización de proteínas y la modificación de los carbohidratos. Otro punto por considerar es el método de determinación de proteína Dumas, basado en la pirólisis completa de la muestra y la cuantificación del nitrógeno de los gases de combustión multiplicado por el factor de conversión de proteína, donde no todo el nitrógeno detectado proviene de proteínas (Hernández-García *et al.*, 2016).

Los concentrados proteicos de frijol tépari mostraron un contenido de lípidos mayor al de sus respectivas harinas, este comportamiento también puede

observarse en otras leguminosas como *Vigna unguiculata* (Pérez, 1996) y *Canavalia ensiformis* (7% y 5.12%, respectivamente) (Chel-Guerrero *et al.*, 2002), a causa de la saponificación de los lípidos que es solubilizada durante la fase acuosa y transportada al precipitado proteico. No obstante, en *Phaseolus lunatus* (Chel-Guerrero *et al.*, 2002) el contenido de lípidos disminuyó de 3.77% a 1.67%, por lo que la saponificación se encuentra relacionada con la composición y tipo de ácidos grasos de la materia prima. Además, de acuerdo con el análisis proximal (Tabla 13), existen cantidades considerables de constituyentes no proteicos, lo que sugiere que precipitaron junto con las proteínas durante la obtención del concentrado, en forma de fosfolípidos, glucósidos, pectinas y otros polisacáridos estructurales (González Quijada, 1999). Parte de las “impurezas” podría reducirse con el desgrasado previo a la extracción de proteína.

7.2 Rendimiento del proceso de extracción de proteína

Los resultados obtenidos en este estudio para semillas de frijol tépari blanco, fueron similares a los reportados por Betancur-Ancona *et al.*, (2004) donde se analizó harina de semillas de *Phaseolus lunatus* y su respectivo concentrado proteico, obtenido mediante precipitación alcalina-ácida.

En la Tabla 12 se reportó que las semillas de frijol tépari tratadas térmicamente tuvieron menor rendimiento que las procesadas en crudo ($1.42 \pm 0.15\%$ y $2.70 \pm 0.20\%$ contra $5.31 \pm 0.32\%$ y $11.73 \pm 0.41\%$). Se descartó que el porcentaje de proteína de la harina influyera en el porcentaje de proteína del concentrado, ya que como pudo observarse, en esta muestra y específicamente para este parámetro no existe diferencia significativa ($p > 0.05$). Sin embargo, la disminución del rendimiento del concentrado de semillas tratadas térmicamente puede atribuirse al tiempo de remojo y a la cocción previa a la precipitación proteica, condiciones en las que difieren las muestras durante su preparación. Betancur-Ancona *et al.*, (2004) sugieren que el tiempo de remojo de las semillas

y el pH empleado, interfiere con la solubilización de moléculas hidrofílicas como las proteínas que varían según su composición y estructura.

Además de la presencia de una matriz compleja como lo son las legumbres, donde se tiene bien caracterizado que la proteína está asociada a los carbohidratos, formando estructuras cristalinas debido a la baja cantidad de agua, y una interacción carbohidrato-proteína que puede ser de vital importancia en plantas como en procesos biológicos, la fibra presente puede atrapar fracciones de proteína o asociarse a ésta al momento de hidratarse (Hernández Cruz *et al.*, 2005). Así mismo, las harinas suelen modificar su composición por la cocción, fomentando la formación de geles y dificultando la separación de líquidos y sólidos durante el proceso de extracción de proteína, esto reduce la cantidad de sobrenadante disponible para la precipitación, logrando de esta manera una disminución en el rendimiento y en el porcentaje de proteína total (González Quijada, 1999). Otro factor importante fue la cantidad de extracto libre de nitrógeno (ELN) que existe en mayor cantidad en las muestras sometidas a cocción (harina y concentrado), donde una fracción de este ELN corresponde a almidón. El almidón, es la mayor fracción de carbohidratos presentes en las legumbres, que tal como se mencionó anteriormente fomenta las interacciones carbohidrato-proteína y permanece atrapado en la matriz proteica por la dificultad de separación con el procedimiento utilizado en este estudio, dando como resultado menores porcentajes de proteína en el concentrado obtenido (Chel-Guerrero *et al.*, 2002).

7.3 Propiedades fisicoquímicas

7.3.1 Capacidad de absorción de agua

Las harinas de frijol tépari a temperatura ambiente y pH neutro en muestras crudas y procesadas (2.40 ± 0.20 , 2.40 ± 0.20 g/g muestra), presentaron valores similares al de dos variedades de frijol *Phaseolus vulgaris* reportadas por Siddiq *et al.*, (2010) donde se analizaron las propiedades fisicoquímicas de harina de frijol cargamanto y frijol negro (2.41 ± 0.21 , 2.23 ± 0.14 g/g muestra). Yadahally *et al.*, (2012) encontraron que harinas de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) y garbanzo (*Cicer arietinum*) se encontraban en un rango inferior al de frijol tépari con valores que oscilan de 1.24 a 1.31 g/g muestra.

Los concentrados proteicos de frijol tépari crudo y cocido (1.40 ± 0.00 , 1.46 ± 0.11 g/g muestra) tuvieron valores mayores al reportado por Sadiq *et al.*, (2010) para aislado proteico de frijol guandú (*Cajanus cajan*) y caupí (*Vigna unguiculata*) (0.97 ± 0.04 , 1.38 ± 0.09 g/g muestra), pero menores a los de frijol mungo (*Vigna radiata*) y chícharo (*Pisum sativum*) (1.63 ± 0.10 , 1.52 ± 0.09 g/g muestra, respectivamente). Otra investigación realizada con leguminosas comerciales de España, informó que aislados proteicos de chícharo (*Pisum sativum*) y haba (*Vicia faba*) poseen mayor capacidad de absorción de agua (1.7 ± 0.1 , 1.8 ± 0.1 g/g muestra) pero aislados de soja (*Glycine max*) (1.3 ± 0.1) se encuentran por debajo de los obtenidos para concentrados de frijol tépari (Fernández-Quintela *et al.*, 1997).

La capacidad de absorción de agua de las legumbres es una propiedad que se encuentra relacionada con el tratamiento térmico, éste reduce o aumenta la velocidad y cantidad de hidratación. Además, la presencia de carbohidratos hidrofílicos podría ser responsable del aumento de este parámetro en harinas comparada con los valores reportados para aislados y concentrados proteicos, donde la cantidad de componentes que permiten absorber y retener mayores

cantidades de agua como fibra soluble y almidón es menor (Aguilera Gutiérrez, 2009). En cuanto a la variación de la capacidad de hidratación entre aislados proteicos, hay que resaltar que existe diferencia en la concentración de proteína, y el grado de interacción con el agua varía por las características conformacionales y disponibilidad de aminoácidos polares (Sadiq Butt y Batool, 2010). Cabe resaltar que las harinas con mayor capacidad de absorción de agua se consideran excelentes ingredientes en panadería y suelen emplearse en la elaboración de alimentos que requieren mantener un grado de viscosidad constante como sopas y natillas (Yadahally *et al.*, 2012).

7.3.2 Capacidad de absorción de aceite

La capacidad de absorción de aceite (OAC) es una propiedad fisicoquímica importante en la elaboración de alimentos y el almacenamiento de estos, tiene influencia en el enranciamiento y el desarrollo del poder oxidativo, que determina la aceptación del consumidor y la calidad del producto. Se trata de la facilidad de “atrapar” físicamente el aceite mediante un proceso de atracción capilar, que en algunos productos actúa como retenedor de sabor, da consistencia y elimina la sensación grasa (Yadahally *et al.*, 2012).

Los resultados de la prueba para harinas de frijol tépari crudo y cocido fueron inferiores (1.26 ± 0.40 , 1.20 ± 0.00 g/g muestra) al de frijol cargamanto y frijol negro (1.48 ± 0.09 , 1.34 ± 0.11 g/g muestra) (Siddiq *et al.*, 2010), pero mayores al reportado por Yadahally *et al.*, (2012) para harina de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) y garbanzo (*Cicer arietinum*) (1.09 ± 0.01 , 0.88 ± 0.01 g/g muestra).

Sadiq Butt y Batool (2010) reportaron valores similares a los obtenidos para concentrados proteicos de frijol tépari crudo y cocido (1.46 ± 0.20 , 1.80 ± 0.40 g/g muestra) en aislados de chícharo (*Pisum sativum*) (1.40 ± 0.08 g/g muestra) y frijol caupí (*Vigna unguiculata*) (1.45 ± 0.06 g/g muestra). Aislados proteicos de

frijol mungo (1.13 ± 0.68 g/g muestra) y soja (1.1 ± 0.1 g/ g muestra) con capacidad de absorción de aceite inferior, y haba con valores superiores (1.6 ± 0.2 g/ g muestra) (Fernández-Quintela *et al.*, 1997).

En algunos casos la capacidad de absorción de aceite de las harinas de leguminosas se correlaciona negativamente con la capacidad de absorción de agua, sin embargo, la baja absorción de aceite puede deberse a la presencia de grandes proporciones de grupos hidrófilos y aminoácidos polares en la superficie de las moléculas de proteínas (Yadahally *et al.*, 2012; Sadiq Butt y Batool, 2010).

7.3.3 Capacidad espumante

Las harinas y concentrados proteicos de frijol tépari mostraron baja capacidad y estabilidad espumante en comparación con lo reportado por Siddiq *et al.*, (2010) para harinas de frijol cargamanto y frijol negro. Mientras que los promedios para diferentes leguminosas analizadas por Aguilera Gutiérrez (2009) presentaron valores con rango de 24-40%, para garbanzos (*Blanco Sinaloa y Castellano*), Judías blancas (*Cannellini y Pinta*) y lentejas (*Pardina*) crudas y procesadas. A pesar de que no se encontraron resultados de capacidad espumante para harinas de frijol tépari, algunas investigaciones reportan mayores porcentajes de esta propiedad en aislados proteicos de frijol caupí y guandú ($69 \pm 4.81\%$ y $68 \pm 3.09\%$) (Sadiq Butt y Batool, 2010) .

En cuanto a los concentrados proteicos, en este estudio no se observó diferencia significativa cuando se realizó la comparación con los resultados de harinas de la misma semilla, lo que sugiere que la materia prima no posee características espumantes sobresalientes, contrario a eso, existe evidencia de que la baja capacidad de formación de espuma podría deberse a repulsiones electrostáticas inadecuadas, menor solubilidad y, por lo tanto, interacciones excesivas entre proteína-proteína (Sadiq Butt y Batool, 2010).

Mientras que altos valores de estabilidad indican espumas hidratadas y la disminución en la estabilidad de formación de espuma puede deberse a la desnaturalización de proteínas. Otras investigaciones resaltan la importancia de conocer el contenido y tipo de grasas que componen a la materia prima. En algunas variedades como el cacahuate (*Arachis hypogaea*), que se clasifica dentro de la familia de las leguminosas, se ha observado capacidad espumante con menor estabilidad a causa del alto porcentaje de grasa y menor solubilidad del concentrado, estos resultados presentan correlación respecto a pH extremos, especialmente ácidos (pH=2), donde mejora la capacidad espumante y la solubilidad de las proteínas (Ferreyra *et al.*, 2007).

La capacidad espumante es una característica vinculada con el porcentaje de proteína de las muestras, ya que tienen mayor flexibilidad y facilidad de encapsular partículas de aire. Sin embargo, sus propiedades funcionales son influenciadas por diversos factores, entre ellos, la composición de la proteína, las condiciones del medio, la presencia de iones y de otros compuestos. La baja capacidad del frijol tépari puede deberse al tipo de proteína, característica que podría representar una ventaja que permita aumentar la cantidad y calidad de proteína de alimentos sin modificar su consistencia (Ferreyra *et al.*, 2007; Sadiq Butt y Batool, 2010).

7.3.4 Capacidad emulsionante

La capacidad emulsionante refleja la habilidad de una proteína para contribuir en la formación de una emulsión, esta relacionada con el potencial de absorber agua y aceite, reflejando la capacidad de las proteínas de impartir resistencia al estrés y los cambios durante un periodo de tiempo definido (Yadahally *et al.*, 2012).

La harina y concentrado proteico de frijol tépari crudo tuvieron mayor capacidad emulsionante que las muestras con cocción, las cuales se asemejan a los

valores reportados por Siddiq *et al.*, (2010) para harina de frijol negro ($45.6 \pm 1.8\%$). En otras investigaciones, se analizó aislados proteicos de frijol caupí ($53.2 \pm 1.1\%$) y garbanzo ($48.8 \pm 0.8\%$), mostrando capacidades emulsionantes menores a las de frijol tépari después de cocción (harina y concentrado proteico) (Yadahally *et al.*, 2012).

El tratamiento térmico influye en la reducción de esta capacidad, justificando que las muestras crudas presenten mayores resultados (Aguilera Gutiérrez, 2009; Chau y Cheung, 1998). Además, el aumento de la actividad emulsionante de las muestras de frijol tépari, podría deberse a la diferencia en la composición química y a la solubilidad de la proteína, así como a la disociación y despliegue parcial de las proteínas globulares, que expone residuos de aminoácidos hidrófobos y consecuentemente aumenta la actividad de superficie y la adsorción en la interfaz de agua y aceite (Yadahally *et al.*, 2012).

7.3.5 Capacidad gelificante

La capacidad gelificante es un parámetro cualitativo que expresa la concentración mínima de proteína a la cual el gel no se desliza por las paredes del tubo de prueba en posición invertida. Cuanto menor es la concentración necesaria, mejor es la capacidad gelificante de las proteínas (Sadiq y Batool, 2010).

Los resultados mostraron que menores porcentajes de frijol tépari cocido (harina y concentrado) eran necesarios para lograr gelificación completa (12% y 2%) respecto a las muestras de frijol tépari crudo (16% para harina y 8% para concentrado), no obstante, en muestras de harina de frijol cargamanto y frijol negro la concentración mínima fue de 8% y 12% respectivamente (Siddiq *et al.*, 2010), mientras que para aislados proteicos de chícharo (18%) y frijol caupí (16%) reportadas por Sadiq y Batool (2010), las concentraciones fueron mayores a las reportadas en la presente investigación. Esto puede atribuirse a

que cuando la semilla de frijol se encuentra en su estado nativo, la proteína, el almidón y la fibra, mantienen una matriz alimentaria intacta que no permite el acceso de agua con facilidad, a diferencia de cuando se aplica calor, esto aumenta la permeabilidad de la harina y por ende la producción de geles (Boland *et al.*, 2014). Los aislados proteicos mejoraron su capacidad gelificante en comparación con las harinas, debido a que el porcentaje de proteína es mayor y estas tienen la capacidad de retener agua e impartir características que den consistencia, tales como gelificar y espesar (Miranda *et al.*, 2013).

7.4 Digestibilidad *in vitro*

Las proteínas de la dieta pueden derivarse de fuentes de origen animal y vegetal, en cualquier caso, es importante considerar que la proteína forma parte de una matriz alimentaria, la cual determina el grado de complejidad de la extracción y digestibilidad tanto de la materia prima como de cada uno de sus componentes.

Las muestras de frijol tépari crudo presentaron grados de complejidad superiores durante la digestibilidad, así como tamaños de partícula mayores a los de las muestras tratadas térmicamente, esto se ve reflejado en los valores al final de la fase intestinal para harina y concentrado crudo ($115 \pm 0.70 \mu\text{m}$, $21.88 \pm 0.98 \mu\text{m}$) con respecto a los de harina y concentrado cocido ($56.32 \pm 0.68 \mu\text{m}$, $23.64 \pm 0.27 \mu\text{m}$), donde a pesar de que las harinas tuvieron diferencia significativa entre tratamientos (crudo y cocido) ($p < 0.05$), los concentrados no presentaron diferencia significativa ($p > 0.05$). Por lo tanto, dependiendo de la fuente y el procesamiento, las proteínas pueden exhibir una amplia gama de estructuras heterogéneas y complejas en los alimentos que consumimos, esto influye en el acceso de las enzimas proteolíticas del tracto gastrointestinal a las moléculas de proteína de la materia prima. Además, debido a que las proteínas poseen regiones con afinidad diferente para entornos hidrofóbicos e hidrofílicos,

las estructuras moleculares nativas tienen efecto sobre la susceptibilidad a la proteólisis (Boland *et al.*, 2014).

El procesamiento físico más común empleado en los alimentos es el calentamiento, el cual puede cambiar la flexibilidad y accesibilidad molecular mejorando la digestibilidad (Boland *et al.*, 2014), tal como pudo observarse en los resultados de la presente investigación al finalizar la etapa de digestión intestinal, con una disminución de tamaño de partícula respecto al tamaño inicial (Tiempo 0) del 34% para harina cocida, 65.35% para concentrado cocido, 81.58% para concentrado crudo y un aumento del 22.47% para harina cruda. Estos datos demuestran que los concentrados crudo y cocido no presentan diferencia significativa ($p>0.05$) en el tamaño de partícula final ($21.88\pm0.98\text{ }\mu\text{m}$, $23.64\pm0.27\text{ }\mu\text{m}$, respectivamente) gracias a la cantidad de proteína de las muestras y menor porcentaje de carbohidratos respecto a las harinas que interfieran con la digestibilidad. A su vez, el incremento en el tamaño de partícula de harina cruda y la continua disminución de tamaño en harina cocida, se atribuye al tratamiento térmico que facilita la interacción de las enzimas proteolíticas con la muestra (Hernández Cruz *et al.*, 2005).

Los concentrados proteicos de frijol tépari poseen mayor facilidad para digerirse que las harinas, sin embargo, el análisis proximal del concentrado cocido mostró diferencia significativa ($p<0.05$) en el porcentaje de proteína, por lo que a pesar de que el contenido de proteína del concentrado crudo fue mayor, la digestibilidad no fue diferente y ambas muestras presentaron resultados de tamaño de partícula sin diferencia estadística significativa ($p>0.05$). Esto se debe a que la presencia de fibra y otros polisacáridos afecta la digestión de las proteínas, evitando el acceso de las proteasas digestivas a las proteínas al aumentar la viscosidad de los contenidos gastrointestinales, además algunos fitoquímicos, como el folato y los compuestos fenólicos, pueden unirse a las proteínas y reducir así su biodisponibilidad (Boland *et al.*, 2014).

Los resultados de porcentaje de proteína digerida de frijol tépari presentaron diferencias, donde el concentrado crudo y el concentrado cocido tuvieron una variación de 13.81 % entre sí, con valores de 49.8 ± 0.80 % y 63.61 ± 4.19 %, respectivamente. Estos fueron mayores a los reportados para harinas crudas y precocidas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*), con un rango de 47.30-56.17% (Ribeiro *et al.*, 2010). Cabe mencionar que harina de chíá y su respectivo aislado tuvieron porcentajes de digestibilidad de proteína de 28.4% y 49.4%, menores a los reportados en esta investigación para frijol tépari empleando la misma técnica (Olivos-Lugo *et al.*, 2009).

La calidad nutricional de las proteínas está relacionada con el patrón de aminoácidos, la digestibilidad y la cantidad de proteína consumida. El frijol es una legumbre caracterizada por su deficiencia en aminoácidos azufrados (metionina y cisteína) y triptófano, componentes que presentan baja digestibilidad *in vitro* por la presencia de inhibidores de proteasas. Otros componentes que repercuten en la digestibilidad del frijol son los complejos almidón-proteína, proteína-proteína, fitatos, taninos, almidón, hemicelulosa, minerales y polifenoles, que representan del 30% al 80% de las muestras de harina y concentrados de frijol tépari de esta investigación (Camacho-Espinoza *et al.*, 2010)

7.5 Electroforesis desnaturalizante (SDS-PAGE)

En la figura 8 se observaron bandas predominantes en los pesos moleculares de 50 kDa y el rango de 20-30 kDa. Las primeras corresponden a la familia de las faseolinas, una proteína de reserva que forma parte del grupo de las globulinas-1 (soluble en soluciones salinas), la cual representa la mayor proporción de proteínas en granos y leguminosas (36-46%), y en frijol la más abundante. Mientras que las otras corresponden al peso molecular de las lectinas, que forma parte de las globulinas-2 y representa del 5-12% de la proteína total del frijol (Camacho Espinoza *et al.*, 2010). Las lectinas vegetales

participan en las interacciones entre bacterias fijadoras de nitrógeno con la raíz de las plantas de leguminosas, protegen de algunos microorganismos (nematodos herbívoros) y en especies animales se ha reportado reconocimiento y eliminación de glicoproteínas del sistema circulatorio, células envejecidas y células tumorales (Hernández Cruz *et al.*, 2005).

Raya-Pérez y colaboradores (2014) caracterizaron la semilla de dos variedades mexicanas de frijol *P. vulgaris* (Bayo Berrendo y Patzcuareño), fraccionaron las proteínas y realizaron el perfil electroforético de cada uno, encontrando que las diferentes fracciones de proteína se localizan en mayor concentración en un rango de 54.8 kDa y 97.2 kDa. Estos datos sugieren que las proteínas localizadas en los concentrados de frijol tépari, se encuentran dentro de los rangos reportados para otras variedades de frijol. Así mismo, Camacho Espinoza y colaboradores (2010), reportaron proteínas predominantes de peso molecular 50 kDa y 30 kDa para tres genotipos de frijol azufrado del estado de Sinaloa, México (azufrado Higuera, azufrado Noroeste y azufrado regional 87).

Los barridos que interfieren con la lectura e identificación de las bandas pueden atribuirse a azúcares y otros compuestos contenidos en el concentrado que no permiten la correcta separación de las proteínas y genera que se continúe observando un barrido vertical (Camacho Espinoza *et al.*, 2010).

Por otro lado, conocer el contenido y tipo de proteína en que se fracciona la proteína total, influye en la calidad nutricional del alimento y permite corroborar e identificar como las lectinas de frijol tépari se relacionan con las pruebas fisicoquímicas y la digestibilidad de las harinas y el concentrado proteico crudo y cocido. Actualmente las lectinas vegetales sirven como modelo de estudio de las interacciones proteína-carbohidrato. Esto se debe a que son capaces de reconocer carbohidratos con alta especificidad de la superficie celular o en suspensión, aglutinan células y precipitan glicoconjugados. Independientemente de su especificidad, las lectinas de leguminosas reconocen a los carbohidratos gracias a la presencia de tres aminoácidos: ácido aspártico, asparagina y un

residuo aromático o una leucina, creando fuertes interacciones entre proteínas y carbohidratos que podrían repercutir en la capacidad de absorción de agua y aceite y la digestibilidad *in vitro* (Hernández Cruz *et al.*, 2005).

VIII. CONCLUSIONES

- La metodología empleada para aislar la fracción de proteína ha permitido obtener valores similares a los reportados en la bibliografía.
- Los resultados obtenidos hasta el momento sugieren que el tratamiento térmico de las semillas influye en las propiedades fisicoquímicas y la digestibilidad de las muestras.
- Al finalizar la fase intestinal, la digestibilidad de las muestras generó un incremento en el porcentaje de partículas pequeñas.
- El porcentaje de proteína digerida es mayor a la reportada para harinas crudas y precocidas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*).
- El frijol tépari (*Phaseolus Acutifolius* Gray) posee una calidad nutricional y propiedades funcionales con potencial de uso como ingrediente en el desarrollo y formulación de nuevos alimentos.

IX. PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES

- El frijol tépari es un alimento de origen vegetal con porcentajes de proteína elevados. Los concentrados proteicos de frijol tépari crudo y cocido aportan más calorías en comparación con las harinas de la misma semilla, pero a diferencia de esto, más del 50% de las calorías son proporcionadas por proteína, seguido de hidratos de carbono y lípidos. Estos valores hacen de este alimento y sus concentrados un potencial ingrediente funcional para distintos productos como bebidas y suplementos naturales.
- El porcentaje de proteína digerida es comparable y en algunos casos mayor al de otras leguminosas y semillas, lo que convierte al frijol tépari en una importante fuente de proteína que con las porciones adecuadas representa una alternativa para abastecer la ingesta diaria recomendada (10-15% de la ingesta diaria) (FAO, 2017).
- La baja capacidad espumante de las harinas y concentrados de frijol tépari abre la posibilidad a la industria alimentaria de desarrollar nuevos productos como: bebidas, sopas, cremas, sustitutos cárnicos y lácteos, con proteína de origen vegetal sin alterar la composición y el sabor de los alimentos, fomentando y proporcionando mayor variedad para grupos de personas con regímenes alimenticios específicos.
- Los concentrados proteicos de frijol tépari están compuestos de fracciones de proteína con características de interés biológico, sin embargo, es importante analizar el perfil de aminoácidos que permita ser más concluyentes en los resultados de digestibilidad y calidad de la proteína.

X. LITERATURA CITADA

1. Acosta, J., & Pérez, P. (2003). *La situación del cultivo del Frijol en México*. Edo. de México: Producción e Investigación. Programa de Frijol del INIFAP.
2. Aguilera Gutiérrez, Y. (2009). *Harinas de Leguminosas Deshidratadas: Caracterización Nutricional y Valoración de sus Propiedades Tecno-Funcionales*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
3. Allende, G., Acero, M., Padilla, J. y Mayek, N. (2006). Comportamiento agronómico y características físico-químicas del grano de frijol en aguascalientes, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 90-93.
4. Association of Official Analytical Chemists. (1980). *Método oficial 7.056. Determinación de lípidos. Official methods of analysis of AOAC International (16a ed)*. Estados Unidos de América: AOAC, International. .
5. Association of Official Analytical Chemists. (1990). *Método oficial 14.003, Determinación de humedad. Official methods of analysis of AOAC International (15a ed)*. Estados Unidos de América: AOAC, International.
6. Association of Official Analytical Chemists. (1990). *Método oficial 14.006. Determinación de cenizas. Official methods of analysis of AOAC International (15a ed)*. Estados Unidos de América: AOAC, International.
7. Association of Official Analytical Chemists. (1990). *Método oficial. 962.09. Determinación de fibra cruda. Official methods of analysis of AOAC International (15a ed)*. Estados Unidos de América: AOAC, International.
8. Association of Official Analytical Chemists. (2005). *Método oficial 968.06. Determinación de proteínas. Official methods of analysis of AOAC International (18a ed)*. Estados Unidos de América: AOAC, International .
9. Association of Official Analytical Chemists. (1984). *Official Methods of Analysis 14 th Ed*. The Association: Arlington, VA.
10. Bello-Pérez, L.-A., Agama-Acevedo, E., Sánchez-Hernández, L. y Paredes-López, O. (1999). Isolation and partial characterization of banana starches. *J Agric Food Chem*, 854-857.

11. Bencini Carcea, M. (1986). Functional Properties of Drum-Dried Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Flours. *Journal of Food Science*, 51(6), 1518-1521.
12. Berkey, C., Willett, W., Tamimi, R., Rosner, B., Frazier, A. y Colditz, G. (2013). Vegetable protein and vegetable fat intakes in pre-adolescent and adolescent girls, and risk for benign breast disease in young women. *Breast Cancer Research and Treatment*, 299-306.
13. Betancur-Ancona, D., Gallegos-Tintore, S. y Chel-Guerrero, L. (2004). Wet-fractionation of *Phaseolus lunatus* seeds: partial characterization of starch and protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84:1193–1201.
14. Beuchat, L. R. (1977). Functional and Electrophoretic Characteristics of Succinylated Peanut Flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(2).
15. Boland, M., Golding, M. y Singh, H. (2014). *Food Structures, Digestion and Health*. United States of America: Elsevier.
16. Camacho Espinoza, M., Peinado Guevara, L., López Valenzuela, J., Valdez Ortiz, A., Salinas Pérez, R., Moreno Herrera, C. y Medina Godoy, S. (2010). CARACTERIZACIÓN PROTEÓMICA DE GRANOS DE FRIJOL AZUFRAO (*Phaseolus vulgaris*) CULTIVADOS EN EL ESTADO DE SINALOA. *Ra Ximhai. Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo*, 6(1), 23-36.
17. Chau, C. y Cheung, C. (1997). Effect of Various Processing Methods on Antinutrients and in Vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 4773-4776.
18. Chel-Guerrero, L. A., Corzo-Ríos, L. y Betancur-Ancona, D. A. (2003). Estructura y propiedades funcionales de proteínas de leguminosas. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*(227), 24-43.
19. Chel-Guerrero, L., Pérez-Flores, V., Betancur-Ancona, D. y Dávila-Ortiz, G. (2002). Functional Properties of Flours and Protein Isolates from *Phaseolus lunatus* and *Canavalia ensiformis* Seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(3), 584-591.
20. Codex Alimentarius Commission (CAC). (2006). Report of the 27th Session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses.

21. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (18 de Noviembre de 2016). *Biodiversidad Mexicana*. Obtenido de <http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/alimentacion/frijol.html>
22. Davila, M., Sangronis, E. y Granito, M. (2003). Leguminosas germinadas o fermentadas: alimentos o ingredientes de alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 348-354.
23. De Luis Román, D., Aller, R. y Castaño, O. (2007). Dietas vegetarianas; repercusión sobre la salud. *Revista Clínica Española*, 141-143.
24. Debouck, D. y Hidalgo, R. (1984). *Morfología de la planta de frijol común (Phaseolus vulgaris L)*. Colombia: CIAT.
25. Díaz Cervigni, K. (2017). *Análisis del uso de distintos concentrados proteicos en dietas de vacas lecheras*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. Recuperado el 25 de Julio de 2018, de: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4776/D%C3%ADaz%20Cervigni%20K.%20%C3%81nalisis%20del%20uso%20de%20distintos%20concentrados%20proteicos..%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
26. Enjamio-Perales, L., Rodríguez Alonso, P., Valero Gaspar, T., Ruiz Moreno, E., Ávila Torres, J. y Varela Moreiras, G. (2017). *Informe sobre Legumbres, Nutrición y Salud (Adaptado al Reglamento relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos)*. Fundación Española de la Nutrición (FEN).
27. Escalante Estrada, J. A., Escalante E, L. E. y Rodríguez G, M. T. (2001). Producción de fríjol, en dos épocas de siembra: su relación con la evapotranspiración, unidades calor. *Terra Latinoamericana*, 309-315.
28. Escudero Álvarez, E. y González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21, 61-72.
29. Faraldo, T., Pissini, S. y Costa, A. (2009). Increase in digestive organs of rats due to the ingestion of dietary fiber with similar solubility to that of common bean. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 47-53.
30. Fernández-Quintela, A., Macarulla, M., Del Barrio, A. y Martínez, J. (1997). Composition and functional properties of protein isolates obtained from

commercial legumes grown in northern Spain. *Plant Foods for Human Nutrition*, 51, 331-342.

31. Ferreyra, J. C., Kuskoski, E., Bordignon Luiz, M., Barrera Arellano, D. y Fett, R. (2007). Propiedades emulsionantes y espumantes de las proteínas de harina de cacahuete (*Arachis hypogaea* Lineau). *Grasas y Aceites*, 58(3), 64-269.

32. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). (2015). *Panorama Agrolimentario*. México: FIRA.

33. Food and Agricultural Organization of the United Nations (1993). (Recuperado el 17 de Marzo de 2018). *Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos*. Obtenido de Depósito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab489s/AB489S00.htm>

34. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). (25 de Julio de 2018). *Concentrado de proteína de guisante*. Recuperado el 25 de Julio de 2018, de http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/concentrado-de-prote%C3%ADna-de-guisante

35. García-Gasca, T; García-Cruz, M; Hernandez-Rivera, E; López-Matínez, J; Castañeda-Cuevas, A; Yllescas-Gasca, L; Rodríguez-Méndez, J; Mendiola-Olaya, E; Castro-Guillén, J. y Blanco-Labra, A. (2012). Effects of Tepary Bean (*Phaseolus acutifolius*) Protease Inhibitor and Semipure Lectin Fractions on Cancer Cells. *Nutrition and Cancer*, 64(8), 1269-1278. doi:10.1080/01635581.2012.722246

36. González de Mejía, E., Martínez-Resendiz, V., Castaño-Tostado, E. y Loarca-Piña, G. (2003). Effect of drought on polyamine metabolism, yield, protein content and in vitro protein digestibility in tepary (*Phaseolus acutifolius*) and common (*Phaseolus vulgaris*) bean seeds. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 1022-1030.

37. González Quijada, M. R. (1999). *Caracterización Fisicoquímica y Valoración Nutricional y Funcional de un Aislado Proteico Obtenido de la Semilla de Ébano Pithecellobium flexicaule (Benth)*. Monterrey, Nuevo León, México: Tesis doctoral.

38. González, L., Téllez, A., Sampedro, J. y Nájera, H. (2007). Las proteínas en la nutrición. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 1-7.
39. Granito, M., Guinand, J., Pérez, D. y Pérez, S. (2009). Valor Nutricional y Propiedades Funcionales de *Phaseolus vulgaris* Procesada: Un Ingrediente Potencial Para Alimentos. *Interciencia*, 64-70.
40. Guangliang , X., Xin , R., Dan, W., Mei, L., Xiaohong, C. y Mingsheng , D. (2017). Effect of Fermentation pH on Protein Bioaccessibility of Soymilk Curd with Added Tea Polyphenols As Assessed by in Vitro Gastrointestinal Digestion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65, 11125–11132. doi:10.1021/acs.jafc.7b04456
41. Hernández Cruz, P., Pérez Campos, E., Martínez Martínez, L., Ortiz, B. y Martínez, G. (2005). LAS LECTINAS VEGETALES COMO MODELO DE ESTUDIO DE LAS INTERACCIONES PROTEÍNA-CARBOHIDRATO. *REB*, 24(1), 21-27.
42. Hernández, A., Ramos, R. y Martínez, A. (1991). *Contribuciones al conocimiento de frijol (Phaseolus) en México*. México: Etnobotánica; Colegio de Postgraduados.
43. Hernández-García, J., Orozco-Villafuerte, J., Cuenca-Mendoza, F., Pérez-Alonso, C., Carrillo-Navas, H. y Guadarrama-Lezama, A. (2016). Extracción, Caracterización física y térmica de aislados de proteína de haba (Vicia faba). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 41-46.
44. Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L. y Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 28(3), 718-726.
45. Hsu, H., Vavak, D. y Satterlee, L. M. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *J Food Science*, 42:1269-1279.
46. Idouraine, A., Weber, C. y Kohlhepp, E. (1995). Composition of tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) of the Southwestern U.S. and Northern Mexico. *Ecology of Food and Nutrition*, 139-147.
47. Idouraine, A., Yensen, S. y Weber, C. (1994). Fractionation and partial

characterization of tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) proteins. *Food Chemistry*, 13-18.

48. Jiménez, J. C., & Acosta, J. A. (2013). Rendimiento de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y Tépari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) bajo el método riego-sequia en Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 557-567.

49. Khayat, A., Rendenz, P. y Gorman, L. (1982). Quantitative determination of amino acids in food by high-pressure liquid chromatography. *Food Technol*, 48:46-50.

50. Laemmli, U. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of Bacteriophage T4. *Nature*, 227, 680-685.

51. Long, J. (2003). *Conquista y Comida: Consecuencias del encuentro de dos mundos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

52. Malik, V., Li, Y., Tobias, D., Pan, A. y Hu, F. (2016). Dietary Protein Intake and Risk of Type 2 Diabetes in US Men and Women. *American Journal of Epidemiology*, 715-728.

53. Martínez, O., Hernández, L. y Ramírez, E. (2013). Evaluación físico-química y nutricional del almidón de banano exportable del Ecuador. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 6-10.

54. Mederos, Y. (2006). "Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)". *Cultivos tropicales*, 27(3), 55.

55. Mejía-Jiménez, A., Muñoz, C., Jacobsen, H., Roca, W. y Singh, S. (1994). Interspecific hybridization between common and tepary beans: increased hybrid embryo growth, fertility, and efficiency of hybridization through recurrent and congruity backcrossing. *Theoretical and Applied Genetics*, 324-331.

56. Melo, V. y Cuamatzi, O. (2007). *Bioquímica de los Procesos Metabólicos*. México: Reverté.

57. Miranda, P., Marrugo, Y. y Montero, P. (2013). Caracterización funcional del Almidón de Frijol Zaragoza (*Phaseolus Lunatus* L.) y Cuantificación de su Almidón Resistente. *TecnoLógicas*, 17-32.

58. Moreiras, O., Carbajal, A. y Cabrera, L. (2013). *Cuadro C. Tablas de composición de Alimentos. Guía de prácticas* (16 ed.). Madrid.

59. Morrison, R. y Boyd, R. (1998). *Química Orgánica* (5a ed.). México: Pearson: Addison Wesley Iberoamericana.
60. Muñoz, R. (2010). Frijol, rica fuente de proteínas. *CONABIO. Biodiversitas*, 89: 7-11.
61. Murray, R., Bender, D., Botham, K., Kennelly, P., V.W, R. y P.A, W. (2009). *Harper. Bioquímica ilustrada, 28a edición* . México, Df: McGraw-Hill.
62. Nacleiro, F. (2006). *Utilización de las Proteínas y Aminoácidos como Suplementos o Integradores Dietéticos*. Obtenido de PubliCE Standard: <https://g-se.com/es/nutricion-deportiva/articulos/utilizacion-de-las-proteinas-y-aminoacidos-como-suplementos-o-integradores-dieteticos-766>
63. Olivos-Lugo, B., Valdivia-López, M. y Tecante, A. (2009). Thermal and Physicochemical Properties and Nutritional Value of the Protein Fraction of Mexican Chia Seed (*Salvia hispanica* L.). *Food Science and Technology International*, 16(1), 89-96. doi:10.1177/1082013209353087
64. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). *Statistics Division*. FAOSTAT.
65. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017 de Febrero de 2017). *El año Internacional de las Legumbres finaliza llamando a aprovechar su fuerte impulso*. Recuperado el 20 de Julio de 2018, de <http://www.fao.org/news/story/es/item/470418/icode/>
66. Osborne, T. (1924). *The vegetable proteins. Monographs on Biochemistry* (2nd ed.). London: Longmans green and Co. doi:<https://doi.org/10.1002/jctb.5000431704>
67. Osman, M. A., Reid, R. P. y Weber, C. W. (2002). Thermal inactivation of tepary bean (*Phaseolus acutifolius*), soybean and lima bean protease inhibitors: effect of acidic and basic pH. *Food Chemistry*(78), 419-423.
68. Paredes-López, O., Guevara-Lara, F. y Bello-Pérez, L. (2006). *Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas*. Fondo de cultura económica.
69. Pérez Lizaur, A., Palacios González, B., Castro Becerra, A. y Flores Galicia, I. (2014). *Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes* (4ta ed.). México, D.F:

Fomento de Nutrición y Salud, A.C.

70. Pérez, F. V. (1996). Efecto de los Parámetros de Remojo Sobre el Rendimiento y la Composición Proximal de las Fracciones Proteicas y Almidonosas Obtenidas Durante la Molienda Húmeda de *Vigna unguiculata*. *Tesis de licenciatura, Químico Industrial. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán*, 21-23. Yucatán, México.
71. Pérez-Navarrete, C., Betancur-Ancona, D., Casotto, M., Carmona, A. y Tovar, J. (2007). Efecto de la extrusión sobre la biodisponibilidad de proteína y almidón en mezclas de harinas de maíz y frijol lima. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(3), 278-286.
72. Raya-Pérez, J., Gutiérrez-Benicio, G., Ramírez-Pimentel, J., Covarrubias-Prieto, J. y Aguirre-Manclla, C. (2014). Caracterización de Proteínas y Contenido Mineral de Dos Variedades Nativas de Frijol de México. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA*, 25(1), 01-11.
73. Reyes, E., Padilla, B., Pérez, O. y López, P. (2008). Historia, naturaleza y cualidades alimentarias del frijol. *Investigación científica*.
74. Ribeiro, D., Patto, C. y Pinto, M. (2010). In vitro protein digestibility of enzymatically pre-treated bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour using commercial protease and *Bacillus* sp. protease. *Food Science and Technology*, 30(1), 94-99.
75. Ríos, M., Quirós, J. y Arias, J. (2003). *Frijol: Recomendaciones generales para su siembra y manejo*. Antioquia, Colombia: Corpoica.
76. Rodríguez, L. y Fernández, X. (2003). Los frijoles (*Phaseolus Vulgaris*): Su aporte a la dieta del costarricense. *SciELO*.
77. Roth, R. A. (2009). *Nutrición y Dietoterapia* (9a ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.
78. Sadiq Butt, M. y Batool, R. (2010). Nutritional and Functional Properties of Some Promising Legumes Protein Isolates. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(4), 373-379.
79. SAGARPA. (2015). Obtenido de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: <http://www.gob.mx/sagarpa>

80. Sánchez, R., Martín, M., Palma, S., López, B., Bermejo, L. y Gómez, C. (2015). Indicaciones de diferentes tipos de fibra en distintas patologías (Revisión). *Nutrición Hospitalaria*, 2372-2383.
81. Sangerman, D., Acosta, J., Schwentesius, R., Huato, M. y Larqué, B. (2010). Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 363-380.
82. Sastre, A. (2003). Fibra y prebióticos: conceptos y perspectivas. *Gastroenterol Hepatol*, 6-12.
83. Segura-Campos, M., Chel-Guerrero, L. y Betancur-Ancona, D. (2013). *Bioactividad de péptidos derivados de proteínas alimentarias*. Barcelona: OmniaScience.
84. Sheerens, J., Tinsley, A. y Abbas, I. (1983). The nutritional significance of tepary bean consumption. *Desert Plants*, 50-56.
85. Shim, S., Choi, M., Park, S., Gu, Y., Oh, J., Kim, S., Kim, H., Kim, G. y Lee, Y. (2010). Assessing the digestibility of genetically modified soybean: Physiologically based *in vitro* digestion and fermentation model. *Food Research International*, 43, 40-45. doi:10.1016/j.foodres.2009.08.011
86. Siddiq, M., Ravi, R., Harte, J. y Dolan, K. (2010). Physical and functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. *LWT - Food Science and Technology*, 43, 232-237. doi:10.1016/j.lwt.2009.07.009
87. Summer, A., Nielsen, M. y Youngs, C. (1981). Production and evaluation of pea protein isolate. *Journal of Food Science*, 46, 364-366.
88. U.S. Department of Health and Human Services and U.S. Department of Agriculture. (2015). *2015-2020 Dietary Guidelines for Americans 8 th Edition*. Obtenido de <https://health.gov/dietaryguidelines/2015/guidelines/>.
89. Ulloa, J., Rosas Ulloa, P., Ramírez Ramírez, J. y Ulloa Rangel, B. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente*, 3(8), 5-9.
90. Vargas-Torres, A., Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Morales-Franco, L. y Bello-Pérez, L. (2006). Digestibilidad del almidón en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *INTERCIENCIA*, 881-884.

91. Villacrés Poveda, C. (2001). *Obtención de un Hidrolizado Enzimático de Alta Funcionalidad a Partir del Chocho (Lupinus mutabilis Sweet)- Tesis*. (E. P. Nacional, Ed.) Recuperado el 25 de Julio de 2018, de <https://books.google.com.mx/books?id=yIAzAQAAMAAJ&pg=PA78&dq=concentrado+y+aislado+definicion&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwiXnJvworjcAhUo74MKHTryAbgQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false>
92. Villarreal, M., Castrejón, F., Plascencia, A., Pujol, L.C., Estrada, A., Ríos, F.G., Cortez, J.M., Cuca, M. y Corona, L. (2015). Características fisicoquímicas de nueve híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y su relación con el contenido de almidón y digestión ruminal. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 243-261.
93. Vioque, J., Sánchez-Vioque, R., Pedroche, J., Yust, M. y Millán, F. (2001). Obtención y aplicaciones de concentrados y aislados protéicos. *Grasas y Aceites*, 52(2), 127-131.
94. Yadahally, S., Vadakkoot, S., Vishwas, P. y Vasudeva, S. (2012). Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their flour functionality. *Food Chemistry*, 131, 462-468.
95. Yamada, T., Hattori, K. y Ishimoto, M. (2001). Purification and characterization of two α -amylase inhibitors from seeds of tepary bean (*Phaseolus acutifolius* A. Gray). *PHYTOCHEMISTRY*, 58, 59-66.
96. Yasumatsu, K., Sawada, K., Moritaka, S., Misaki, M., Toda, J., Wada, T. y Ishii, K. (1972). Whipping and Emulsifying Properties of Soybean Products. *Agricultural and Biological Chemistry*, 36(5), 719-727. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/00021369.1972.10860321>

RESUMEN CURRICULAR

Cristina López Ibarra

Candidato para el Grado de Maestría en Ciencias en Nutrición

Tesis: EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y FUNCIONALES DEL CONCENTRADO PROTEICO DE *Phaseolus acutifolius* Gray

Campo de Estudio: Ciencias de la Salud

Datos personales:

Nacida en Zacatecas, Zacatecas el 5 de mayo de 1992, hija de Manuel López Delgado y Patricia Ibarra Rodríguez.

Educación:

Egresada del Instituto Tecnológico de Durango en 2013, con el grado de Ingeniero Bioquímico.

Experiencia Profesional:

Desarrollo de Proyectos en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) Unidad Monterrey (2014 - 2016).

Practicante en laboratorio de metalurgia en Minera del Norte S.A. de C.V., Unidad Cerro de Mercado, Durango (2012 - 2013).